

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

**FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE**

ÚPRAVA BIOMASY PRO ENERGETICKÉ ÚČELY

BIOMASS MODIFICATION FOR ENERGY USE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ RIEGER

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

ING. MAREK BALÁŠ

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Lukáš Rieger

který/která studuje v bakalářském studijním programu

obor: Energetika, procesy a ekologie (3904R030)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem c.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Úprava biomasy pro energetické účely

v anglickém jazyce:

Biomass modification for energy use

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Využívání biomasy pro výrobu tepelné nebo elektrické energie je stále velice aktuální téma. Pro použití rozdílných forem surové biomasy ve spalovacích a zplyňovacích zařízeních je třeba její úpravy. Práce by měla shrnout dosavadní výsledky v oblasti úpravy paliv pro energetické využití.

Cíle bakalářské práce:

- 1/ Provést literární rešerši na téma úpravy biomasy
- 2/ Provést porovnání několika výrobků upravené biomasy pro spalování a zplyňování (pelety, brikety, štěrka atp.)

Seznam odborné literatury:

Jandačka, Malcho, Mikulík: Biomasa ako zdroj energie

Židek: Vykurovanie drevenými peletami

Holz: Topíme dřevěnými peletami

Pastorek, Kára, Jevič: Biomasa, obnovitelný zdroj energie

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Baláš

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 5.11.2009

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

RIEGER Lukáš: Úprava biomasy pro energetické účely

Hlavní náplní této závěrečné práce vyhotovené v rámci bakalářského studia oboru B-EPE je provést souhrn nejrozličnějších metod a principů využívaných pro úpravu biomasy, a to na základě literární studie. Důraz je přitom kladen na možnost následného energetického využití takto vytvořeného bioproduktu.

Vzhledem k tomu, že každá z používaných metod vede ke vzniku výrobků o rozličných vlastnostech závislých jak na způsobu úpravy, tak na druhu původní biomasy, byla provedena analýza několika druhů pevných biopaliv (pelet a briket různých materiálů a od různých výrobců), která vytváří představu o rozlišnosti základních vlastností výrobků upravené biomasy.

Klíčová slova: Biomasa, pelety, brikety.

Abstract

RIEGER Lukáš: Biomass modification for energy use

The main contents of the theses completed in the bachelor's programme of the field B-EPE is to make a summary of various methods and principles used for treatment of biomass, based on literature studies. Emphasis is put on the possibility of a subsequent use of the energy of a thus created organic.

Considering that each of the methods used gives rise to products of varying characteristics depending on both the presentation and the type of the original biomass, an analysis of several types of solid biofuels (pellets and briquettes made of different materials by different manufacturers), which evokes an image of the diversity of the fundamental characteristics of the products made from modified biomass.

Key words: Biomass, pellets, briquettes.

Bibliografická citace

RIEGER, L. *Úprava biomasy pro energetické účely*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 47 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Marek Baláš.

Čestné prohlášení

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 20.5.2010

.....
Podpis

Poděkování

Děkuji Ing. Marku Balášovi za cenné rady a odborné vedení při tvorbě bakalářské práce a Ing. Jiřímu Moskalíkovi za podstatné informace a dozor při laboratorních měřeních. V neposlední řadě bych tímto také rád poděkoval své rodině za podporu v průběhu studia.

Obsah

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

1. ÚVOD	7
2. CO JE BIOMASA	7
2.1. BIOMASA VYUŽITELNÁ PRO ENERGETICKÉ ÚČELY	9
2.2. VYUŽITÍ BIOMASY PRO ENERGETICKÉ ÚČELY	10
3. ÚPRAVA BIOMASY PRO ENERGETICKÉ ÚČELY	10
3.1. TEPELNÁ PŘEMĚNA BIOMASY	11
3.1.1. Karbonizace, výroba dřevěného uhlí	12
3.1.2. Pyrolýza	14
3.1.3. Rychlá pyrolýza	14
3.1.4. Zplyňování	15
3.1.5. Katalytické zkapalňování (hydrolýza)	17
3.2. BIOCHEMICKÁ PŘEMĚNA BIOMASY	17
3.2.1. Anaerobní digesce	17
3.2.2. Mokrý způsob fermentace	18
3.2.3. Suchý způsob fermentace	20
3.2.4. Aerobní fermentace	20
3.3. VÝROBA KAPALNÝCH BIOPALIV	21
3.3.1. Neupravené rostlinné oleje	21
3.3.2. Bioetanol	21
3.3.3. Bionafta	21
3.3.4. Perspektivní motorová biopaliva	22
3.4. MECHANICKÁ ÚPRAVA PEVNÝCH BIOPALIV	23
3.4.1. Stříhací zařízení	23
3.4.2. Štěpkovače	23
3.4.3. Drtiče	26
3.4.4. Zařízení na briketování a peletování	27
3.5. ZPRACOVÁNÍ ENERGETICKÝCH STÉBELNIN	28
3.6. MECHANICKÁ ÚPRAVA RYCHLEROSTOUCÍCH DŘEVIN	29

4. VÝROBKY Z BIOMASY	30
4.1. BRIKETY	30
4.1.1. Výroba briket	31
4.2. PELETY	31
4.2.2. Výroba pelet	32
4.3. SLEDOVANÉ VLASTNOSTI VÝROBKŮ Z BIOMASY	32
4.4. POROVNÁNÍ UŽÍVANÝCH NOREM	35
5. EXPERIMENTÁLNÍ POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ VÝROBKŮ Z BIOMASY ...	37
5.1. STANOVENÍ VLASTNOSTÍ VÝROBKŮ Z BIOMASY	37
5.1.1. Výpočty	38
5.2. PELETA BIOMAC (DŘEVĚNÁ EKOPELETA BIOMAC) – MĚŘENÍ	39
5.2.1. Specifikace výrobku dle výrobce	39
5.2.2. Výpočty	39
5.3. POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ PELET	40
5.4. POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ BRIKET	41
6. ZÁVĚR	43
7. SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ	44
8. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	45
9. SEZNAM PŘÍLOH	47

1. Úvod

Zásobování palivy a energiemi tvoří stále větší problém, jenž znepokojuje celou společnost na různých úrovních řízení a který je umocňován dosavadními trendy světového populačního růstu, zvyšující se spotřebou energie, tenčícími se zásobami fosilních paliv, zdánlivě pomalým technickým pokrokem, a to zejména v oblasti objevování nových, především obnovitelných energetických zdrojů, a také negativními dopady na životní prostředí.

„Každým rokem se zvyšuje počet obyvatel na Zemi přibližně o 80 milionů. V závislosti na tomto faktoru dochází také k nárůstu spotřeby energie. Podle údajů WEC (World Energy Council) vykazuje spotřeba energie ještě prudší růst a do roku 2020 je očekáván roční přírůstek spotřeby energií o 5,5 mld. t. CE (uhelný ekvivalent)“ [1].

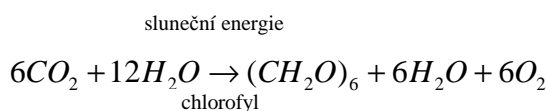
V současné době si energetická politika většiny států klade velmi podobné cíle. Mezi nejdiskutovanějšími se obvykle vyskytují: Ochrana životního prostředí, zajištění dostatečného množství energie a jejího bezpečného transportu ke spotřebiteli, podpora konkurenční schopnosti ekonomiky a respektování zásad udržitelného rozvoje. K dosažení těchto cílů se nutně počítá i s významným využitím obnovitelných zdrojů energie, jako je biomasa, solární, větrná, vodní a geotermální energie.

Dá se předpokládat, že obnovitelné zdroje energie zřejmě nikdy nebudou patřit mezi rozhodující vysokopotenciální energetické zdroje, mohou však mít významný regionální a lokální přínos.

2. Co je biomasa

Biomasa je definována, jako látka organického původu. Pod tímto označením si v nejširším smyslu slova můžeme představit hmotu všech organismů na Zemi zahrnující nejen jejich těla, ale také produkty jejich činnosti, jakými jsou exkrementy zvířat, semena rostlin a další. Je tedy zřejmé, že existuje mnoho forem biomasy, které se obvykle rozdělují z hlediska původu nebo způsobu vzniku na jednotlivé podskupiny, jakými jsou fytomasa (jednoleté rostliny), zoobiomasa (živočišná biomasa), dendromasa (lesní dřevěná hmota) atd.

Z celosvětového hlediska základní tvorbu biomasy obstarávají rostliny. Využívají k tomu přirozené schopnosti zachytávat světelnou energii v zeleném barvivu (chlorofylu). Tuto dále zužitkovávají k produkci sacharidů a bílkovin, které jsou základním stavebním kamenem všech živých organismů, tedy biomasy. Podstatou tohoto procesu (fotosyntéza) probíhajícího za pomoci slunečního záření je syntéza atmosférického CO₂ a vody. Ačkoliv je celý přírodní mechanismus fotosyntézy poměrně složitý, je možné tuto biochemickou reakci schematicky znázornit přibližně takto [1]:

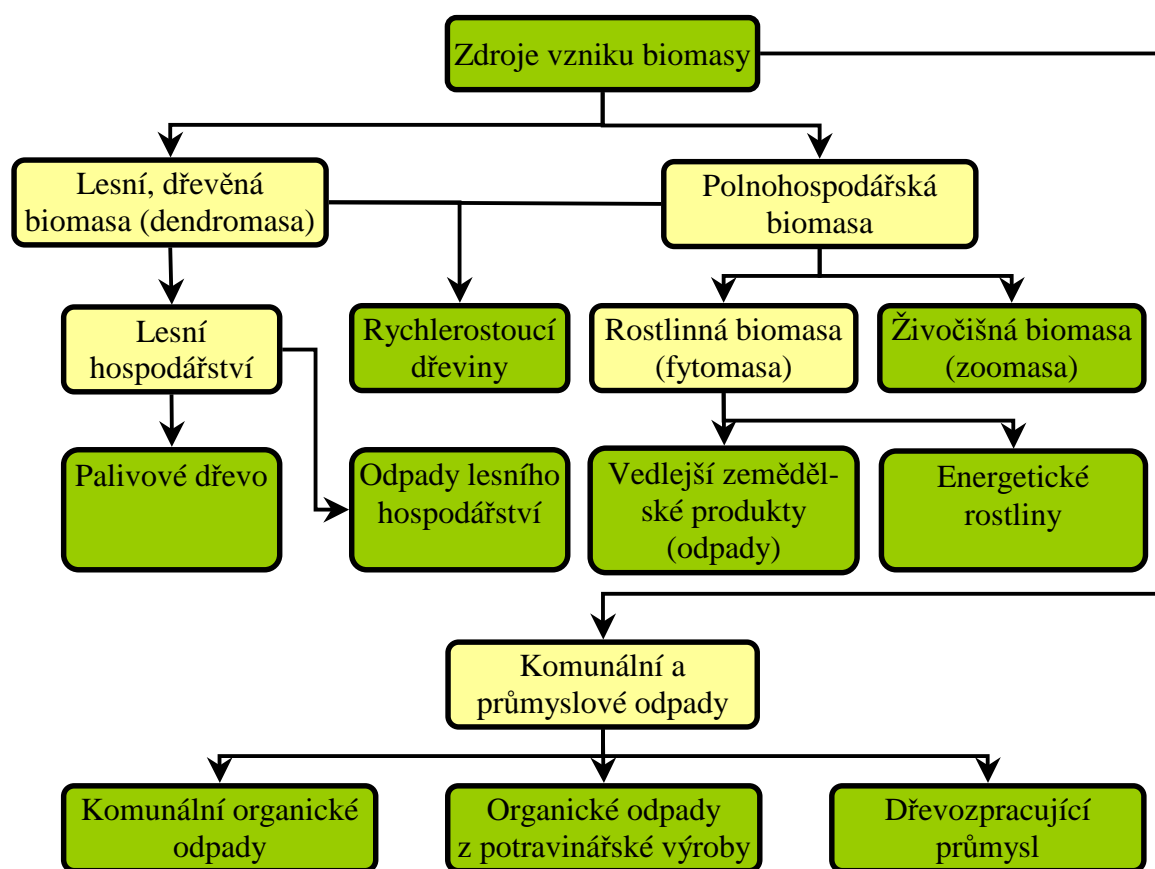


Díky přítomnosti uhlíku a energii obsahující uhlíkové vazby v živé hmotě, je teoreticky možné ze všech forem biomasy vyrábět energii. V mnohých případech je však třeba vyřešit jak tento potenciál využít a zda takováto produkce energie bude ekonomicky výhodná.

Současné zdroje biomasy jsou reprezentovány zejména rostlinami k tomuto účelu pěstovanými a využitelnými odpady ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby. Uplatňují se také organické materiály získané při údržbě krajiny a z komunálního hospodářství. Roční celosvětová produkce biomasy je odhadována na 100 miliard tun o energetickém potenciálu přibližně 1400 EJ, což je téměř pětinašobek roční světové spotřeby fosilních paliv (300 EJ)

S ohledem na zmíněné údaje se zdá, že by bylo možné biomasou plně nahradit fosilní zdroje. Tato myšlenka s sebou však přináší i určité problémy, jako například [1]:

- Biomasa produkovaná pro energetické účely konkuruje dalším způsobům jejímu využití v nejrůznějších oblastech (např. k potravinářským a krmivářským účelům, zajištění surovin pro průmyslové účely, uplatnění mimoprodukční funkce biomasy).
- Pro dostatečnou produkci biomasy je důležité zajistit potřebnou rozlohu pěstebních ploch nebo zvýšit intenzitu její výroby, což vede k navyšování investic a k možnému nedostatku zemědělské půdy pro „tradiční“ plodiny.
- Získávání energie z biomasy v současných podmínkách jen s obtížemi ekonomicky konkuruje využití klasických energetických zdrojů. Tato skutečnost může být postupně měněna tlakem ekologické legislativy.
- Neposledním faktorem omezujícím maximální možné využití biomasy k energetickým účelům je rozmístění zdrojů biomasy a spotřebičů energie.



Obr. 1.: Zdroje vzniku biomasy [4]

Avšak vedle problémů, využívání biomasy pro energetické účely přináší i celou řadu nesporných výhod. Mezi ty nejvýznamnější, z celosvětového hlediska, bezpochyby patří:

- Biomasa patří mezi obnovitelné energetické zdroje.
- Prokazatelně menší negativní dopady na životní prostředí než u tradiční zdrojů energie.
- Přispívá k energetické soběstačnosti regionů.
- Řízená produkce biomasy přispívá k formování krajiny.
- Dochází k účelnému využívání spalitelných, někdy i toxických odpadů.
- Produkce a využívání biomasy se může odrazit i ve snížení nezaměstnanosti.

Tab. 1.: Zdroje energeticky využitelné biomasy v ČR [8]

Druh paliva	Zdroj	Produkce (t/r)
Dřevo, kůra	Odpady z lesní těžby a dřevozpracujícího průmyslu	2 600 000
Sláma, obilovin	25 % celkové sklizně slámy při výnosu 4 t/ha	1 600 000
Sláma, olejnin	Do 100 % celkové sklizně při výnosu 4 t/ha	1 000 000
Traviny, rákos	Cca z 20 % trvalých porostů při výnosu min. 2 t/h	800 000
Dřevní šrot, obaloviny a spalitelný komunální odpad	Odpadové dřevo a obaly	600 000
Polní dřevo a energetické obilí	Účelově pěstované na půdě vyčleněné z výroby potravin	4 000 000
Celkem do roku 2010 – 2020		10 600 000

2.1. Biomasa využitelná pro energetické účely

Dle druhu se energeticky využitelná biomasa obvykle dělí do pěti základních skupin, kterými jsou [1]:

1. Fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy
2. Fytomasa olejnatých rostlin
3. Fytomasa s vysokým obsahem škrobu a cukru
4. Organické odpady a vedlejší produkty živočišného původu
5. Směsi různých organických odpadů

Pro získávání energie se nejvíce uplatňuje především [1]:

1. Biomasa k tomuto účelu záměrně pěstovaná:

- Energetické rostliny s vysokým obsahem cukru na výrobu alkoholu (cukrová řepa, obilí, brambory, cukrová třtina) a olejnin (nejvyužívanější je řepka olejná vhodná pro výrobu surových olejů a metylesterů).
- Rychlerostoucí dřeviny (vrby, topoly, olše a další stromové či keřovité dřeviny).

2. Biomasa odpadní:

- Veškeré rostlinné odpady (kukuřičná a obilná sláma, řepková sláma, zbytky z lučních a pastevních areálů, zbytky po likvidaci křovin a lesních náletů, odpady ze sadů a vinic).
- Odpady z živočišné výroby (exkrementy z chovů hospodářských zvířat, zbytky krmiv, odpady mléčnic, odpady z přidružených zpracovatelských kapacit).
- Organické odpady z potravinářských a průmyslových výrob (odpady z provozů na zpracování a skladování rostlinné produkce, odpady z jatek, odpady z mlékáren, odpady z lihovarů a konzerváren, odpady z vinařských provozoven, hobliny, piliny a odřezky z dřevařských závodů).
- Lesní odpady – dendromasa (dřevní hmota z lesních probírek, kůra, větve, pařezy, kořeny po těžbě dřeva, palivové dřevo, manipulační odřezky, klest).
- Komunální organické odpady (kaly z odpadních vod, organický podíl tuhých komunálních odpadů).

2.2. Využití biomasy pro energetické účely

Využití biomasy pro energetické účely a způsob jakým bude přeměněna v energii je do značné míry předurčen jejími fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Z čistě energetického hlediska, lze energii z biomasy získávat téměř výhradně termochemickou přeměnou, tedy spalováním. Pro tento proces je podstatnou vlastností její výhřevnost, která je dána především množstvím tzv. hořlaviny (organická část bez vody a popelovin, směs hořlavých uhlovodíků - celulózy, hemicelulózy a ligninu). Biomasy je v závislosti na druhu možné spalovat buďto přímo, nebo jsou spalovány kapalně, či plynné produkty vzniklé jejím vhodným zpracováním.

Vedle výhřevnosti je velmi důležitým parametrem především vlhkost, respektive obsah sušiny v biomase. Obsahuje-li materiál do 50 % sušiny, je pro zpracování biomasy využíváno tzv. mokrých procesů. V opačném případě, tedy je-li obsah sušiny větší než 50 %, uplatňují se procesy suché. Na základě těchto poznatků je možné rozlišovat několik způsobů používaných k úpravě biomasy s cílem získat energii. Jedná se zejména o tyto [1]:

1. Termomechanická přeměna biomasy (suché procesy pro en. využití biomasy):

- Karbonizace
- Zplyňování
- Pyrolýza

2. Biomechanická přeměna biomasy (mokré procesy pro en. využití biomasy):

- Alkoholové kvašení
- Metanové kvašení

3. Fyzikální a chemická přeměna biomasy:

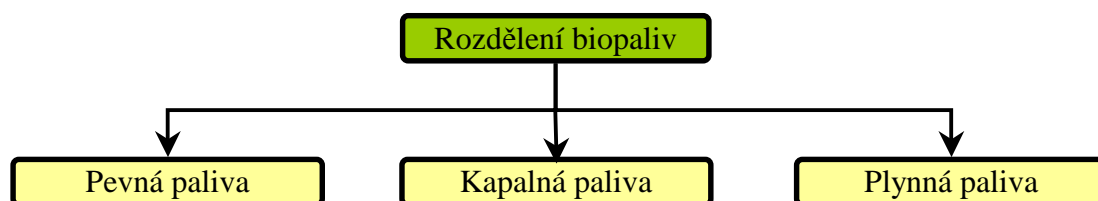
- Mechanicky (štípání, drcení, lisování, briketování, peletování, mletí apod.)
- Chemicky (esterifikace surových bioolejů)

4. Získávání odpadního tepla při zpracování biomasy (kompostování, aerobní čištění odpadních vod, anaerobní fermentace pevných organických odpadů apod.)

Z výše uvedených principů užívaných pro zpracování biomasy se v současné době v praxi nejvíce uplatňuje především spalování biomasy (suchý proces) a výroba bioplynu anaerobní fermentací (mokrá proces). Na vzestupu je výroba bioolejů ze semen olejnatých rostlin.

3. Úprava biomasy pro energetické účely

Pro využívání biomasy k výrobě energie je zapotřebí, téměř vždy, danou hmotu upravit tak, abychom získali kvalitnější zdroj energie, než je samotná základní surovina, která se v některých případech ani k energetickému využití (např. ke spalování) nehodí. Zpracováním biomasy lze získat tyto druhy biopaliv: Pevná paliva (palivové dřevo, dřevní štěpka, pelety, brikety, kůra, piliny), kapalná paliva (metanol, etanol, oleje, pyrolýzní oleje), plynná paliva (bioplyn-CH₄, dřevoplyn-CO, pyrolýzní plyn, syntézní plyn-CO, H₂).



Obr. 2.: Rozdělení biopaliv [2]

Tab. 2.: Vhodnost aplikace různých způsobů konverze biomasy k en. účelům [1]

Druh biomasy	Ostatní procesy		Suché procesy			Mokré procesy		
	Esterifikace bioolejů	Získávání odpadního tepla	Spalování	Zplyňování	Pyrolýza	Alkoholová fermentace	Aerobní fermentace	Anaerobní fermentace
En. plodiny lignocelulóзовé (dřevo, sláma, píce, obiloviny)	0	1	3	1	1	1	2	2
Olejnate plodiny (řepka, slunečnice, len)	3	0	2	0	0	0	0	2
En. plodiny škrobnaté, cukernaté (brambory, cukrová řepa)	0	0	1	1	1	3	0	1
Odpady z živočišné výroby (exkrementy, mléčné odpady)	0	2	1	1	1	0	2	3
Organický podíl komunálních odpadů	0	1	3	2	2	0	1	3
Organický odpad z potravinářské, či jiné průmyslové výroby	0	1	1	0	0	2	2	3
Odpady z dřevařských provozoven	0	0	3	2	2	0	0	0
Odpady z lesního hospodářství	0	1	3	2	2	0	1	2
Rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a z péče o krajinu	0	1	3	1	1	0	1	2
Získané produkty	A	B	C	D	E	F	G	H

Legenda: Aplikace technologie v praxi

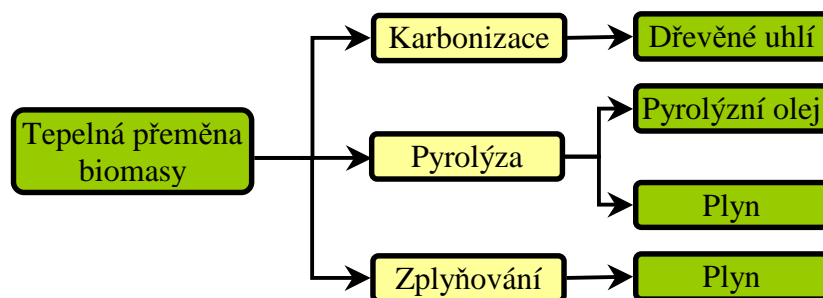
0-nelze použít nebo se v praxi nevyužívá, 1-technicky zvládnutelná technologie, avšak v praxi nepoužitelná, 2-vhodné jen pro určité technicko-ekonomické podmínky, 3-často používaná technologie

A-olej, metylester, B-teplo vázané na nosič, C-teplo vázané na nosič, D-hořlavý plyn (metan), E-pevné palivo, dehtový olej, plyn, F-etanol, metylalkohol, G-teplo vázané na nosič, H-metan

3.1. Tepelná přeměna biomasy

V současné době nejrozšířenějším způsobem energetického využívání biomasy jsou termochemické procesy. Vesměs se jedná o suchou destilaci biomasy bez přístupu vzduchu, či s minimálním příívodem vzduchu.

Pro tepelnou přeměnu biomasy je využíváno zejména těchto procesů: Karbonizace, pyrolýza a zplyňování. Výsledné produkty těchto termochemických přeměn, tedy pokud z nich chceme mít energetický zisk, je třeba spalovat.

**Obr. 3.: Termochemické procesy [1]**

3.1.1. Karbonizace, výroba dřevěného uhlí

Dřevěné uhlí bývá definováno (dle normy ČSN 66 8410) jako drobný až kusovitý, tvrdý, pórovitý, snadno hořlavý vysoce uhlíkatý nekrytalický produkt suché destilace dřeva, mající černou barvu, matný kovový lesk, výraznou dřevitou strukturu, při nárazu kovový zvuk, lasturovitý lom a vysokou absorpční schopnost. Obsahuje malý podíl síry, jeho bod vznícení je v rozmezí 300 až 400 °C, průměrná výhřevnost $27,2 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ (tedy až 1,78 krát vyšší, než výhřevnost palivového dřeva), průměrná měrná hmotnost $0,20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ (při rozpětí 0,14 až 0,22). Vlhkost kusového dřevěného uhlí je do 8 %, obsah prchavých látek v sušině do 12 %, obsah popela v sušině do 2 % a obsah uhlíku minimálně 80 % [1]. Pro dřevěné uhlí platí, že čím vyšší je karbonizační teplota, tím tvrdší je výsledný produkt a jeho drobitost je závislá především na použité dřevině.

- **Nejvíce drobitvé uhlí** – vyrobeno z topolu, lípy, olše, javoru, břízy
- **Nejméně drobitvé uhlí** – vyrobeno z jehličnatých dřevin
- **Středně drobitvé uhlí** – vyrobeno z ostatních dřevin

Dobře vypálené dřevěné uhlí se projevuje pomalým hořením, přičemž vydává sálavé teplo (400 až 500 °C) bez plamenů a kouře. Čerstvě vypálené uhlí je nutné nechat, před pytlováním, tři až čtyři dny volně na vzduchu dozrát (za dozoru), aby se předešlo jeho samovznícení. Skladovací prostory musejí být vybaveny hloubkovým teploměrem nebo jiným signalizačním zařízením a hasící technikou.

Výroba dřevěného uhlí je nejstarší, stále používanou metodou zušlechťování dřeva pro energetické využití. Původní tepelný rozklad dřeva bez přístupu vzduchu, resp. v redukční atmosféře v milířích byl pro svou pracnost, ne hospodárnost a ekologickou nevhodnost (únik plynů a kapalných frakcí bez zužitkování, znečištění výsledného produktu zeminou) nahrazen suchou destilací v karbonizačních pecích a retortách. Tyto se odlišují zejména v tom, že u karbonizačních pecí, podobně jako u milířů [obr. 4.], dodává teplo potřebné pro tepelný rozklad látek samo zuhelnňované dřevo, zatímco u retort musí být teplo dodáváno zvenčí, což se děje zahříváním pláště. Toto opatření má za následek nejvyšší chemickou čistotu dřevěného uhlí (retortové uhlí).

Výrobou dřevěného uhlí se získává 33 až 35 % dřevěného uhlí, při současné produkci asi 8,1 % dehtu, 15,8 % nezkondenzovatelných plynů CO, CO₂, 6,0 % kyseliny octové, 2,1 % metanolu a dalších přibližně 300 chemických sloučenin, jejichž objemový podíl nepřesahuje 1 %. Karbonizačních teplot se v pecích dosahuje mezi 16. až 26. hodinou po zapálení náplně, v závislosti na druhu zuhelnňované dřeviny, tloušťce polen a vstupní vlhkosti dřeva. Při pálení dřevěného uhlí se užívá jak cyklický, tak kontinuální způsob [4].



Obr. 4.: Milíř – historický způsob výroby dřevěného uhlí [17]

Moderní karbonizační pece umožňují výtěžnost až 100 kg uhlí z 1 m³, přičemž dehtové produkty jsou zachycovány pevný dnem pece, kondenzovatelné látky z plynné frakce jsou sráženy v kondenzátoru a jímány a zbytek plynné frakce je dodatečně spalován plynovým (propan-butanovým) hořákem s katalyzátorem, který neutralizuje jedovaté produkty a exhalace CO snižuje na méně než 20 % původního množství. Proces pálení v takovýchto zařízeních trvá asi 32 hodin a poté následuje jednodenní vychládání. Zužitkovávají se i některé vedlejší zachycené produkty, např. dehet (je kvalitní, obsahuje malý díl metanolu a aromatických uhlovodíků), vodní kondenzát je možné kompostovat nebo použít k výrobě bioplynu.

Dřevěné uhlí se v průmyslu nejvíce využívá pro obohacování kvalitních ocelí uhlíkem (nauhličování) a pro filtrování kapalin a plynů. Mimo průmyslovou oblast je pak využíváno zejména k výrobě malířských uhlů (uhlí vypálené z lípy a osiky) a k přípravě pokrmů grilováním [1].

Tab. 3.: Výtěžnost dřevěného uhlí [1]

Druh dříví	Výtěžnost dřevěného uhlí (%)	
	Hmotnostní	Objemová
Buk, dub	20 až 22	52 až 56
Bříza	20 až 21	65 až 68
Borovice	22 až 25	60 až 64
Smrk	23 až 26	65 až 75
Větve (nespecifikované)	19 až 22	38 až 48

Pro výrobu dřevěného uhlí může být použito dříví ze stromů listnatých i jehličnatých, které však obsahuje co nejméně suků a nemělo by být napadeno hnilobou, neboť dřevěné uhlí ze dřeva napadeného hnilobou po vyjmutí z karbonizační pece dlouho žhne, pomalu vychládá a často se samovolně vznítí. Dále je potřeba zajistit, aby dříví před vlastním pálením bylo dostatečně proschlé, doporučuje se ponechat jej nejméně půl roku po těžbě vysychat na slunci a v průvanu. Podle typu dřeviny použité v procesu karbonizace, a míry jejího proschnutí, lze z 1 m³ dříví získat 140 až 180 kg dřevěného uhlí, 280 až 400 kg kapalin a zhruba 80 kg hořlavých plynů. Tedy pro výrobu jedné tuny dřevěného uhlí je zapotřebí asi 10 tun rovnaného dříví [1].

V současné době se dřevěné uhlí vyrábí téměř výhradně z tvrdého listnatého dříví. Výsledný produkt se od produktu vyrobeného z jehličnanů liší zejména hustotou, která činí přibližně jednu čtvrtinu hustoty dříví, ze kterého byl vyroben. Hustota uhlí z tvrdého listnatého dříví dosahuje hodnot 180 až 220 kg·m⁻³, u uhlí z jehličnanů je tato hodnota a něco nižší (140 až 180 kg·m⁻³), přičemž největších hustot dosahuje dřevěné uhlí vypálené z větví, místo kmenového dříví [1].

Ačkoliv výroba dřevěného uhlí může být výhodným způsobem, jímž lze zužít dříví například z lesních polomů, je celý proces značně zatížen dodržováním přísných hygienických norem, protože při karbonizaci dříví za omezeného přístupu vzduchu vzniká CO a obtížně likvidovatelné toxické (formaldehyd, acetaldehyd, glyoxal, akrolein) a karcinogenní látky (fenoly a kondenzované uhlovodíky - např. Benzpyren). A proto nelze stabilní, ani mobilní karbonizační pece umísťovat a provozovat kdekoli, ale jen na základě souhlasu příslušného hygienického úřadu. Tyto podmínky tak do jisté míry znesnadňují větší využívání výše zmíněného výrobního procesu dřevěného uhlí.

3.1.2. Pyrolýza

Pyrolýza je proces, který probíhá, podobně jako karbonizace, bez přístupu kyslíku. Podstatou tohoto tepelného rozkladu biomasy, odehrávajícího se při teplotách 500 až 800 °C, je ohřev základního materiálu nad mez termické stability přítomných organických sloučenin, čímž dochází k jejich štěpení až na stále nízkomolekulární produkty a tuhý zbytek. Potřebné reakční teplo musí být, pro nedostatek kyslíku, přiváděno z cizího zdroje. Podle druhu zpracovávaného materiálu a požadovaných produktů se pyrolýza provádí při atmosférickém, zvýšeném nebo i sníženém tlaku za vysokých nebo nízkých teplot.

Pyrolýzní procesy se v závislosti na dosahované teplotě rozdělují na [2]:

1. **Nízkoteplotní** (< 500 °C)
2. **Středněteplotní** (500 – 800 °C)
3. **Vysokoteplotní** (> 800 °C)

Základem většiny současných pyrolýzních systémů je termický rozklad vstupního materiálu v rotační peci vytápěné zevně spaliny, které vznikají následným spalováním pyrolýzních plynů v tzv. termoreaktoru. Přebytková energie uvolněná spálením plynů při ohřevu vsázky se využívá k výrobě páry nebo teplé užitkové vody prostřednictvím kotlů na odpadní teplo.

Pyrolýzní plyn je také využitelný, jako chemická surovina, palivo pro motory nebo plynové turbíny kogeneračních jednotek.

3.1.3. Rychlá pyrolýza

Rychlá pyrolýza je jedním z moderních způsobů upravujících biomasu ve formě dřeva a jiné odpadní materiály, s cílem získat produkty dosahující lepších energetických vlastností, než má původní materiál. Jedná se o vysokoteplotní proces, při kterém jsou malé částice biomasy v pyrolýzním reaktoru, za nepřítomnosti kyslíku, rychle zahřáté na teplotu 450 až 600 °C. Přičemž doba umístění suroviny v reakční zóně by neměla přesáhnout 2 sekundy. Při splnění těchto podmínek pak dochází k rozkladu biomasy.

Látkami vystupujícími z tohoto procesu jsou zejména páry a aerosoly, v menší míře také plyn a tuhé částice. Jejich okamžitým ochlazením z kondenzují, přičemž dochází ke vzniku velkého podílu tmavohnědé kapaliny o nízké viskozitě. Výsledná kapalina, bioolej, dosahuje hustoty zhruba 1200 kg/m³ a výhřevností 16 až 20 MJ/kg, při výtěžnosti bio-oleje z biomasy dosahující až 70 % hmotnostních. Společně s ním během procesu rychlé pyrolýzy vznikají ještě některé vedlejšími produkty, jedná se zejména o pyrolýzní koks (do 15 %) a pyrolýzní plyn (do 51 %), tyto však obvykle bývají zpracovány v samotném pyrolýzním procesu pro výrobu tepla [4].

Jako vstupní surovinu pro výrobu biooleje, pomocí pyrolýzy, je možné využít jakéhokoliv tuhého biopaliva, avšak je nezbytné, aby vstupující materiál dosahoval vlhkosti nižší, než 10 %, z důvodu omezení obsahu nežádoucí vody v produkované látce. Rovněž velmi podstatné je zabezpečit, aby vstupující biomasa byla rozdrožena do podoby jemných částí, nejlépe o velikosti přibližně 3 mm. Pomocí tohoto opatření lze dosáhnout rychlého průběhu reakce a dále snadné separace pevných částic [2].

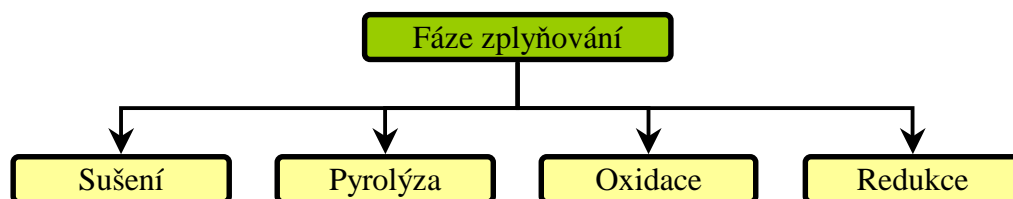
Bioolej získaný procesy rychlé pyrolýzy ještě obvykle prochází fázemi čištění a potřebných úprav, především proto, aby bylo možné jej dále využívat. Uplatnění tato látka nejčastěji nachází například jako topný olej pro kotle, palivo spalovacích motorů a turbín, nebo jako složka chemické výroby. Jeho nespornou předností je také možnost snadné přepravy a jednoduchá skladovatelnost.

3.1.4. Zplyňování

Zplyňovací metoda je založena na termochemické přeměně biomasy, která probíhá za nízkého obsahu kyslíku a teplot pohybujících se v rozmezí 800 až 900 °C, přičemž částice vstupující biomasy setrvávají v reaktoru řádově desítky sekund. Vstupním materiálem pro zplyňovací proces je nejčastěji palivové a odpadní dřevo získávané od dřevozpracujících závodů či z lesní těžby, ale prakticky je možné využívat všechen organický materiál.

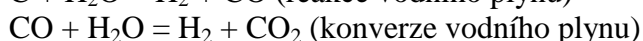
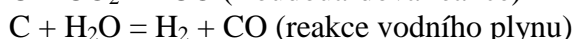
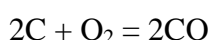
Výsledným produktem takovéto přeměny je plyn. V případě použití vzdušného kyslíku jako okysličovadla, tento se pro zplyňování biomasy používá nejčastěji, vzniká surový plyn o nízké výhřevnosti (4 až 6 MJ/m³), který obsahuje asi 18-20 % CO, 18-20 % H₂, 2-3 % CH₄ a dále dusík, dehty, fenoly a tuhé částice [4].

Zplyňování dřeva ve zplyňovačích se uskutečňuje ve čtyřech fázích [2]:



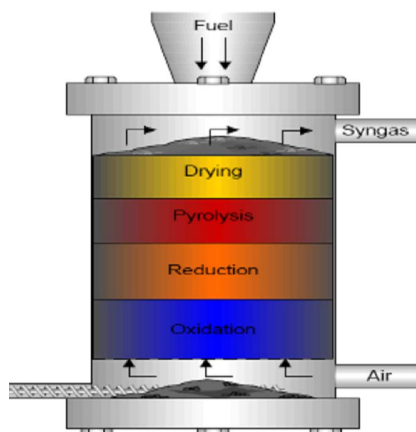
Obr. 5.: Fáze zplyňování [5]

- **Sušení** (sušící zóna) – zahřátím paliva až na 100 °C dochází k odpaření vodního obsahu. V závislosti na typu reaktoru, složení paliva, velikosti částic setrvává palivo v této fázi sekundy až minuty.
- **Pyrolýza** (pyrolýzní zóna) – probíhá při teplotě 400 °C. Dochází k rozkladu složité struktury biomasy a následnému uvolnění plynů, par a kapalin. Tuhý zbytek je zastoupen dřevěným uhlím a popelem. Reakční doba se pohybuje od několika milisekund až po minuty v závislosti na vlastnostech paliva a reakčních podmínkách.
- **Oxidace** (oxidační zóna) – v této fázi dochází k exotermní reakci, která tvoří zdroj tepla pro hlavní zplyňovací reakce (endotermní), za vzniku CO₂.
- **Redukce** (redukční zóna) – při teplotě 700 °C dochází k reakci dřevěného uhlí s O₂, CO₂, H₂O za vzniku CO. Mezi hlavní zplyňovací reakce patří [5]:

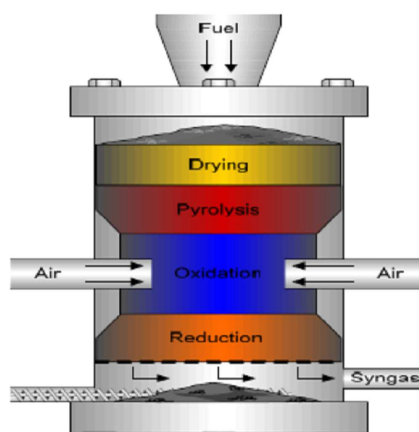


Technologie zplyňování se zpravidla dělí do třech základních skupin [1]:

1. **Protiproudá - se sesuvným (pevným) ložem** – velkou předností tohoto zařízení je, že umožňuje i zplyňování materiálů s vysokou relativní vlhkostí. Avšak takto vyrobený plyn obsahuje více dehtu, který je třeba odstranit, přičemž výsledný produkt dosahuje nižších hodnot výhřevnosti. Vlivem jednoduché konstrukce je zařízení méně nákladné.
2. **Souproudá - se sesuvným (pevným) ložem** – odlišuje se tím, že má výpusť plynu na dně reakční nádoby a redukční zónu pod spalovací (oxidační) zónou. Tyto dvě modifikace vedou k tomu, že dehet tvořící se v pyrolytické zóně musí projít horkou spalovací zónou ještě dříve, než opustí zplyňovač. Takto se dehet zúčastní spalování nebo se rozkládá na lehčí uhlovodíky, a proto je vycházející plyn v ideálním případě bez dehtu.



Obr. 6.: Protiproudý zplyňovač [6]



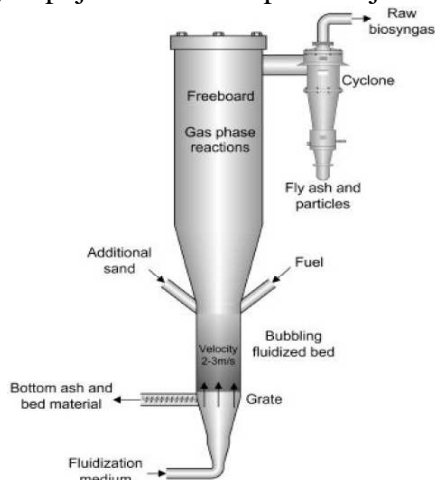
Obr. 7.: Souproudý zplyňovač [6]

3. **Fluidní - s fluidním ložem (ve vznosu)** – při zplyňování ve fluidním loži víří látka přiměřené granulometrie (2 až 20 mm) ve spodní části izotermního reaktoru účinkem předehřátého vzduchu, postupně účinkem vznikajícího plynu. Vhodným poměrem paliva a vzduchu je možné účinně regulovat poměr exotermických (spalovacích) reakcí ($C + O_2 = CO_2$) a endotermických (zplyňovacích) reakcí ($C + H_2O = CO + H_2$, $C + CO_2 = 2CO$) tak, aby proces probíhal bez přívodu energie zvenčí, tj. autotermicky.

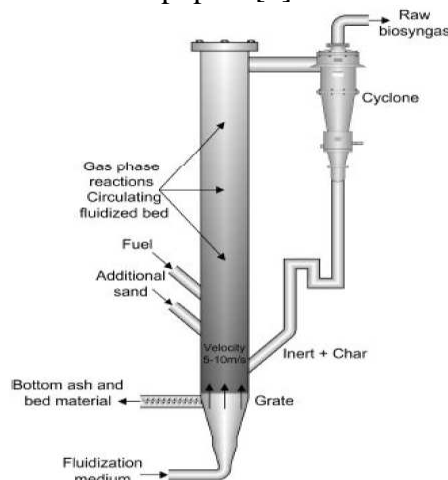
Vzniklý plyn obsahuje především CO (25 %), H_2 (20 %), CO_2 (10 %), N_2 (40 %) a zčásti CH_4 (3 %), přičemž z 1 kg dřeva se uvolní 1,5 až 2,0 m³ dřevoplynu [2].

Pro získání plynu o výhřevnosti vyšší než 5 MJ·m⁻³, je třeba, aby vlhkost vstupující suroviny byla mezi 15 až 20 %. Tento požadavek však splňují pouze některé druhy dřevního odpadu, např. hobliny z nábytkářských výroben, mimořádně těž štěpka, delší dobu uskladněná v krytém prostoru. Jiné druhy dřevního odpadu, jako piliny nebo čerstvě naštěpkované dřevo, tuto podmínku nesplňují a je nutné je předem vysušit.

Za použití vyspělých technologií lze, obdobným způsobem, z biomasy vyrobit syntézní plyn. Generátor syntézního plynu je naplněn vrstvou koksu a zplyňovaným, zpravidla odpadním materiálem. Proces probíhá při vysokých provozních teplotách (větších než 2000 °C) dosahovaných pomocí plazmových hořáků. Při řízeném omezeném přístupu primárního vzduchu se vyvíjí syntézní plyn (směs CO, H_2 atd.), který je po úpravě využitelný jako kvalitní plynné palivo a jediným odpadem vystupujícím z tohoto procesu je relativně malé množství popela [1].



Obr. 8.: Fluidní zplyňovač s bublinkujícím ložem [6]



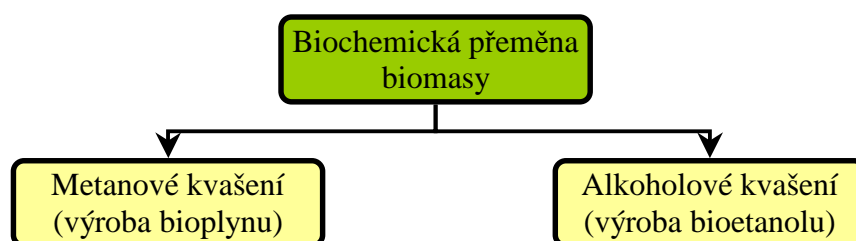
Obr. 9.: Fluidní zplyňovač s cirkulujícím ložem [6]

3.1.5. Katalytické zkapalňování (hydrolýza)

Dalším procesem zpracování biomasy, spadajícím do skupiny tepelných přeměn, je katalytické zkapalňování. Využíváním tohoto termochemického konverzního procesu se získávají produkty s vyšší energetickou hustotou. Katalytické zkapalňování (hydrolýza) probíhá při teplotě 300 až 350 °C a tlaku 12 až 20 MPa ve vodním prostředí. Pro uskutečnění reakce je však zapotřebí použít katalyzátor (NaOH) nebo proces provádět za vysokého parciálního tlaku vodíku [2].

Primárním vystupujícím produktem je organická kapalina (bioolej), která se vyznačuje sníženým obsahem kyslíku (kolem 10 %). Vedlejším produktem tohoto procesu je voda obsahující organické látky. V současnosti tato technologie není moc rozšířena, ale vzhledem k vysoké kvalitě vystupujících produktů lze předpokládat větší budoucí uplatnění.

3.2. Biochemická přeměna biomasy



Obr. 10.: Nejvyužívanější biochemické přeměny biomasy [2]

3.2.1. Anaerobní digesce

Anaerobní digesce (anaerobní fermentace, anaerobní stabilizace či anaerobní vyhnívání) je proces metanového kvašení, který spočívá v mikrobiologickém rozkladu organických látek bez přístupu vzduchu. Ve specializovaných technologických zařízeních se takto zpracovávají například biologicky rozložitelné složky komunálního odpadu, zvířecích exkrementů, organických kalů z čistíren odpadních vod a jiné vhodné biomasy. Proces obvykle probíhá při teplotě 35 až 45 °C za vzniku bioplynu a digestátu (zbytek po fermentaci).

Rozlišují se 2 druhy technologií [4]:

1. Mokrá fermentace – zpracování tzv. čerpatelné biomasy (obsah sušiny max. 12 %).
2. Suchá fermentace – zpracování tzv. nečerpatelné biomasy (20 až 60 % sušiny).

Fermentační přeměny se dále rozdělují podle reakční teploty. V praxi se proto můžeme setkat s procesy [4]:

1. Mezofilními – probíhají za teploty 35 až 40 °C (zpracování odpadu z živočišné zemědělské výroby, např. prasečí kejda atd.).
2. Termofilními – reakční teplota 55 °C (užívá se např. ke zpracování kalu na čistíčkách odpadních vod, přičemž vyšší reakční teplotou je zajištěna hygienizace kalu).

Bioplyn produkovaný procesem anaerobní fermentace je z 50-80 % tvořený hořlavým metanem, z 20-40 % oxidem uhličitým a 1-3 % obsahu zabírají další prvky jako jsou dusík, sirovodík nebo vzácné plyny. Výhřevnost bioplynu dosahuje hodnot v rozmezí 20-24 MJ/m³, přičemž nejvíce je ovlivňována právě obsahem metanu [2].

Zbytek hmoty po fermentaci (tzv. digestát) lze velmi dobře využívat jako zemědělské hnojivo, neboť jsou v něm zachovány hlavní živiny a humusotvorné komponenty, a naopak zničeny patogenní zárodky a semena plevelů. Jeho nespornou předností je, že nezapáchá a při použití na polích neohrožuje podzemní ani povrchové vody.

Tab. 4.: Srovnání vlastností různých druhů bioplynu [2]

Parametr	Bioplyn ze skládky odpadů	Bioplyn z ČOV	Bioplyn z prasečí kejdy
Výhřevnost (MJ/m ³)	16,9	21,1	24,0
H ₂ (%)	1	1	-
CO (%)	1	-	-
O ₂ (%)	3	-	-
N ₂ (%)	-	-	-
Cl-, F- (mg/m ³)	-	-	-
NH ₃ (mg/m ³)	-	-	40
CO ₂ (%)	46	38	31
CH ₄ (%)	49	61	69
H ₂ S (mg/m ³)	350	1000	2300

Základní surovinou pro výrobu bioplynu jsou odpady živočišné a rostlinné výroby. Nejvíce se uplatňuje kejda (tekuté a pevné výkaly hospodářských zvířat promísené s vodou), případně i slamnatý hnůj, kal z ČOV, organický odpad, zelená biomasa a další. Z rostlin jsou vhodné zejména ty s vyšším obsahem dusíku, více dužnaté a špatně vysychající, jakými jsou kukuřice, řepka, slunečnice, nadbytečná tráva a víceleté pícniny.

Pro výrobu bioplynu se hodí jak čerstvá, tak i silážovaná nebo senážovaná biomasa, případně i sušená. Přičemž pro zlepšení procesu fermentace a zvýšení výtěžnosti bioplynu se doporučuje zelenou rostlinnou biomasu kombinovat se zvířecími fekáliemi (hnojem, kejdou) a s dalšími biologicky rozložitelnými odpady (odpady z jídelen, separovaný domovní odpad, tukové odpady apod.) [3].

Vzniklý bioplyn, aby bylo možné jej dále energeticky využívat, je v některých případech nutné předčistit. Je využíván jako technologické palivo pro získávání tepla potřebného v samotném fermentačním procesu (např. v čistírnách odpadních vod pro vyhřívání vyhnívacích nádrží) a také je velmi dobře využitelný pro přímé spalování v plynových kotlích nebo kogeneračních jednotkách sloužících k výrobě tepla a elektrické energie.

Nevýhodou výroby bioplynu, pomocí anaerobní fermentace, je zejména potřeba vyšších investic do technologie, avšak na druhou stranu je tímto procesem možné zpracovávat materiál, který by jinak byl využit pouze jako hnojivo.

3.2.2. Mokrý způsob fermentace

Jedná se o kontinuální způsob fermentace, jehož základem je přivedení vhodné organické hmoty s větším podílem vody (kejda z chovu vepřů, exkrementy drůbežářských podniků apod.) do míchací a homogenizační nádrže, ve které se, za současného dodání cirkulační vody, vytvoří dostatečně čerpatelný substrát. Ten je pak veden do velkorozměrové fermentační nádrže (bioreaktoru), kde probíhá vlastní fermentační proces. Zbytek po fermentaci (tzv. digestát) bývá uskladňován ve sběrných nádržích, kde je připraven pro další použití v zemědělské výrobě.

Vzhledem k tomu, že digestát většinou obsahuje ještě značné množství kapalné složky, doplňuje se fermentační proces o jeho úpravu, kdy dochází k oddělení tuhého a kapalného

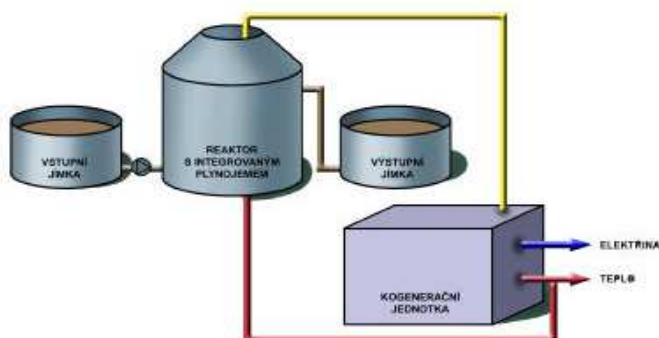
podílu. Odloučená voda se vrací zpět do technologického procesu, kde je využívána pro zvýšení tekutosti vstupní suroviny.

Tab. 5.: Výtěžnost bioplynu z různých surovin [3]

Druh využití biomasy	Výnos bioplynu z tuny biomasy [m ³]
Kejda skotu	25
Kejda prasat	30
Kaly z ČOV	30
Lihovarské výpalky	60
Bramborové slupky	74
Slepičí hnůj	80
Cukrová řepa	90
Komunální bioodpady	115
Mláto	120
Zelená řezanka	175
Travní siláž	185
Kukuřičná siláž	190
Žitná siláž (celé rostliny)	195
Odpady z jatek	210
Tuk z odlučovače tuku	250
Zbytky jídel	265
Řepkové pokrutiny	600
Odpad z pekárny	714
Starý tuk	961

Cílový produkt, tedy bioplyn, se skladuje v plynojemu, v němž je připraven pro využití k pohonu kogenerační jednotky se spalovacím motorem.

Celé zařízení pro anaerobní zpracování odpadu, bioplynová stanice [obr. 11., 12.], je investičně dosti náročné, avšak vyznačuje se vysokým využitím energetického potenciálu. Jeho výstavba často naráží na nedůvěru obyvatel v okolí, kteří se obávají nadměrného zápachu, což již vedlo k upuštění od několika takovýchto projektů.

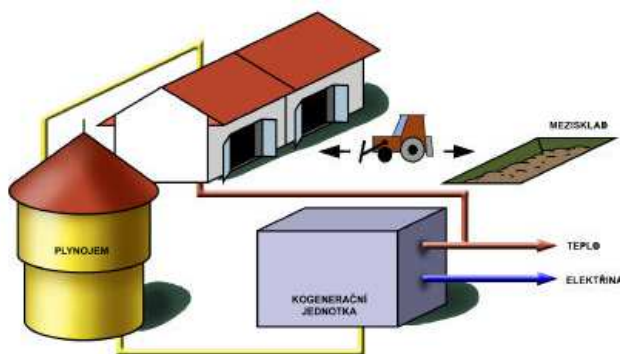


Obr. 11.: Bioplynová stanice pro mokrou fermentaci [4]

Pro anaerobní zpracování odpadu a produkci bioplynu slouží tzv. bioplynové stanice. Klasická bioplynová stanice pro mokrou fermentaci je tvořena vstupní (homogenizační) jímkou, reaktorem a výstupní jímkou (mezisklad fermentačního zbytku pro uskladnění před konečným využitím, např. aplikací na pole, apod.). Anaerobní proces je kontinuální a manipulaci s biomasou zajišťují čerpadla.

3.2.3. Suchý způsob fermentace

Pro zpracování organického odpadu, jakým je slámatý kravský hnůj, lze využít také suchou fermentační metodu, jejímž základem je zaplnění reakčních prostor, například velkých košů válcového tvaru o průměru 3,5 až 5 m vstupní surovinou (hnůj), a jejich plynotěsným uzavřením (plechovým zvonem). Následně se v krátkém časovém horizontu, důsledkem probíhajících mikrobiologických procesů, začne samovolně zvyšovat teplota hnoje.



Obr. 12.: Bioplynová stanice pro suchou fermentaci [4]

Bioplynová stanice pro suchou fermentaci sestává z několika reakčních komor (např. kovový kontejner nebo zděná komora s plynotěsnými vraty) a meziskladu. Doprava zpracovávaného materiálu do komor a z nich je zpravidla prováděna běžnou manipulační technikou (např. traktor s radlicí). Anaerobní proces je řízen dávkováním procesní tekutiny (inokulum anaerobních mikroorganismů), případně i modulátoru pH. Proces je přetržitý: Doba potřebná pro vyprázdnění a nové naplnění komory a start reakce je 3 dny, vlastní reakce a produkce bioplynu pak trvá 24-27 dnů.

Produkovaný bioplyn je odsáván potrubím zaústěným z podlahy do prostoru pod zvonem. Po ukončení fermentace, která trvá čtyři až šest týdnů je reakční prostor otevřen a zbylý substrát použit jako kvalitní hnojivo. Pro možnost kontinuálního provozu bývá bioplynová stanice nejčastěji vybavena šesti koši a pěti zvony. Bioplyn je v tomto případě odsáván ventilátorem a po promíchání se uskládá v tlakových nebo atmosférických plynojemech, odkud je přiváděn, jako palivo, ke kogenerační jednotce vyrábějící elektrinu a dodávající teplo.

3.2.4. Aerobní fermentace

Vedle anaerobní digesce se můžeme setkat i s dalším způsobem užívaným ke zpracování odpadní biomasy pomocí hnilobných procesů. Tento proces se nazývá aerobní fermentace a jeho základem je mikrobiální rozklad organických látek základního materiálu vlivem vhodných kultur mikroorganismů za přístupu vzduchu. Tohoto principu se využívá zejména při běžném kompostování a ačkoliv proces aerobní fermentace také spadá do oblasti metanového kvašení, tak nevede k energetickému využití, ale především ke stabilizaci bioodpadu, snížení jeho objemu či tvorbě hnojiva.

Průmyslový aerobní proces je využíván především pro rychlou degradaci organické hmoty, která je možná zejména díky samovolnému vzrůstu teploty (až na 70 °C) krátce po startu fermentace. Cyklus pak trvá řádově dny, maximálně týdny (zahrádkářský měsíce) a jako výsledný produkt vystupuje hnojivý substrát, dále plyný CO_2 a vodní pára.

Doprovodným jevem aerobních procesů, jež lze řídit pomocí obracení, převrstvování a provzdušňování je, že při jejich startu a převrstvování zpracovávaných odpadů dochází k emisím pachových látek a dalších nežádoucích plynů (např. CH_4 , NH_4 , atd.) [4].

Tab. 6.: Srovnání výhod a nevýhod anaerobní a aerobní fermentace [4]

Parametr	Aerobní fermentace	Anaerobní fermentace
Fermentační zbytek	Srovnatelné vlastnosti	
Redukce pachových zátěží	-	Velmi významná
Produkce bioplynu	-	Ano = tržby za elektřinu a teplo
Produkce plyných emisí	CH ₄ , NH ₃ (plyny s globálním účinkem na atmosféru)	Žádné
Investiční a provozní náklady	Nižší než u anaerobní fermentace	Vyšší než u aerobní fermentace, ale zisk z energetického využití

3.3. Výroba kapalných biopaliv

Kapalná biopaliva jsou vyráběna pomocí procesů druhotného zpracování pěstovaných energetických rostlin. Takto vzniklé kapaliny se nejčastěji používají jako palivo pro pohon spalovacích motorů dopravních prostředků (bionafta, etanol), kogeneračních jednotek s pístovými motory, aditivum do kapalných paliv (etanol), a nebo pro výrobu biologicky odbouratelných mazadel.

„Stimulujícím prvkem pro výrobu bionafty a bioetanolu je závazek České republiky přispět k evropskému indikativnímu cíli 5,75 % podílu biopaliv v dopravě v roce 2010, který je dán Směrnicí o biopalivech 2003/30/EC.“ [2]

3.3.1. Neupravené rostlinné oleje

V současnosti není možnost využívat neupravené rostlinné oleje, jako motorové palivo příliš populární, neboť ve většině případů znamená provedení speciálních úprav motorů. Ale především v Německu a Rakousku se zemědělci stávají nezávislími na dodavatelích tradičních motorových paliv a to díky rostlinnému oleji vyráběnému na pomaluběžných lisech, který využívají jako palivo pro pohon svých traktorů a automobilů. S rostoucí cenou ropy se i mnoho dalších uživatelů, zejména starších vozidel s dieselovými motory, začíná blíže zajímat o toto palivo, což otevírá cestu pro jeho širší využití.

3.3.2. Bioetanol

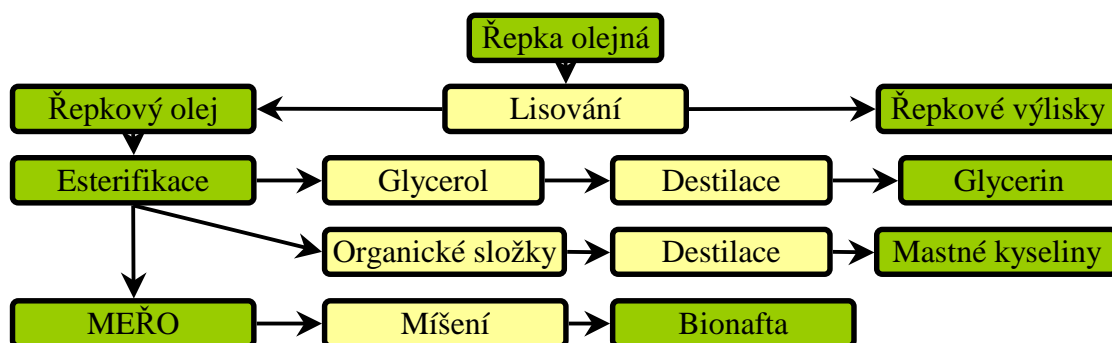
Bioetanol (kvasný líh či alkohol) je vyráběn na základě procesu alkoholového kvašení s následnou destilací. Jako základní materiál pro jeho výrobu je možné použít jak rostlinných, tak živočišných surovin s vyšším obsahem cukrů a škrobů. Z tohoto důvodu se nejčastěji využívá cukrové řepy, obilí, brambor ale např. i syrovátky.

Produkce bioetanolu má do budoucna velký potenciál, neboť jej lze využívat jako hodnotné motorové palivo pohánějící upravené spalovací motory nebo jako alternativní palivo stacionárních zařízení užívaných k výrobě tepla. V podobě aditiv je přidáván i do běžných motorových paliv, čemuž předchází jeho chemická úprava na sloučeninu ETBE (etylterc.butylether).

3.3.3. Bionafta

Podstatou výroby bionafty [obr. 13.] je lisování řepky olejné, filtrování a následná esterifikace, při které dochází k separaci oleje na metylester (MEŘO – bionafta) a glycerol,

který je, jako vedlejší produkt, vhodný pro další využití v chemickém průmyslu. Zbylé výlisky, tedy odpad vzniklý ze vstupního materiálu, se spotřebovávají ke krmení zvířat v zemědělství. Základní využívanou surovinou pro výrobu bionafty je v současnosti, v České republice, řepka olejná. Bionaftu lze také vyrábět i ze lněného, či slunečnicového oleje nebo z použitých rostlinných olejů (např. z restaurací, zařízení hromadného stravování či potravinářského průmyslu) [2].



Obr. 13.: Výroba bionafty [4]

MEŘO – čistý esterifikovaný olej (Metyléster řepkového oleje)

MEŘO je ekologicky čisté palivo a v porovnání s tradiční naftou vykazuje při spalování 3 až 40-krát nižší obsah uhlovodíků ve výfukových plynech a také nižší obsah tuhých částic. Bionafta také prokazuje značnou samomazací schopnost a její výhodou je i její rychlá biologická odbouratelnost [4].

Pojem “bionafta” dnes můžeme běžně vidět i v nabídce čerpacích benzinových stanic, kde se pod tímto označením prodává tzv. směsná bionafta 2. generace, která je směsí 30 % bionafty a 70 % ropné nafty. Výhodou tohoto paliva je jeho lepší spalitelnost v sériových dieselových motorech oproti čisté bionaftě. Navíc nevyžaduje úpravu motoru a palivového systému vozidel [2].

3.3.4. Perspektivní motorová biopaliva

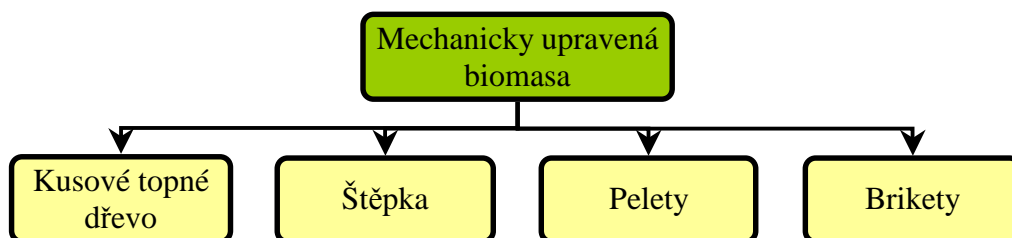
Motorová paliva lze také získávat kondenzací, nebo pomocí jiných přeměn primárních či syntetických plynů vznikajících při thermochemických procesech zpracování biomasy, kterými jsou například rychlá pyrolýza nebo zplyňování.

Jedním takovým principem navazujícím na úpravu biomasy pomocí zplyňování je metoda Fischer-Tropsch. Jedná se o katalytický proces, během kterého dochází k syntéze plyných produktů zplyňování biomasy, především oxidu uhelnatého a vodíku, na vyšší kapalné uhlovodíky, nichž je dále možné vyrobit náhradu motorového benzínu, nafty nebo lubrikanty. Tento proces však není žádnou novinkou. Byl vyvinut již ve 20. letech 20. století a ve velké míře pak používán např. za 2. světové války pro syntézu kapalných motorových paliv z uhlí. V současné době se, ve spojení s biomasou, začíná o jeho využití znovu uvažovat [2].

Že oblast biopaliv se stále ještě má kam vyvíjet, dokazují i mnohé perspektivní projekty, které se po celém světě připravují k realizaci. Mezi velmi důležité, z pohledu budoucího rozvoje biopaliv, lze jistě zařadit tzv. biorafinérie. V takovémto zařízení jsou připravována motorová paliva čistě z rostlinného materiálu nebo z odpadů, tedy bez jakékoliv potřeby ropy. Probíhá také výzkum, doplněný občasnými pilotními projekty, zabývající se myšlenkou možné výroby biovodíku.

3.4. Mechanická úprava pevných biopaliv

Hlavním zástupcem pevných biopaliv je dřevo, které se obvykle v první fázi zpracování na biopalivo upravuje především velikostně. K tomuto účelu se vedle obyčejných seker a štípačů, vhodných spíše pro zpracování menších množství dřevěné hmoty, využívá především různých stříhacích zařízení, štěpkovačů a drtičů.



Obr. 14.: Mechanicky upravená biomasa

3.4.1. Stříhací zařízení

Tato zařízení, fungující na principu gilotiny, se využívají na výrobu klasického kusového dřeva z tenčiny a odpadů z dřevařského průmyslu. K dělení materiálu dochází při pracovním cyklu stříhacího nože, kdy se dřevo tlakem o protinůž odstřihne. Při následném zdvihu stříhacího nože posune podávací zařízení stříhané dřevo obvykle o 25 až 30 cm. V některých provozech se pro homogenizaci, většinou odpadového dřeva, používají stříhací zařízení s větším počtem stříhacích nožů, vzdálených od sebe přibližně 50 cm, přičemž ustřižené dřevo padá na dopravník, kterým se dopravuje například rovnou do spalovacího zařízení [1].

3.4.2. Štěpkovače

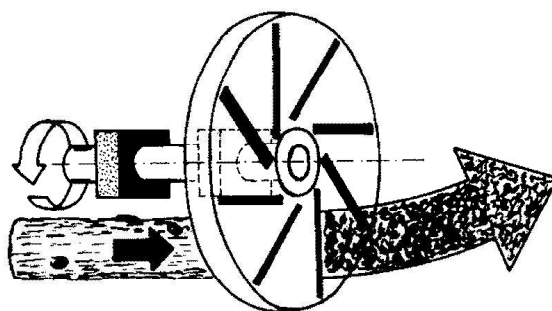
Jednou z nejpoužívanějších metod využívaných k úpravě biomasy je štěpkování. Podstatou je rozduřování vstupního materiálu (např. zbytků po těžbě dřeva) ostrými noži na homogenní štěpku pomocí tzv. štěpkovačů.

Štěpkovače jsou zařízení používaná k beztržkovému dělení dřeva způsobenému řezným účinkem sekacích nožů napříč vlákny a zároveň dělením na potřebnou tloušťku podél vláken díky klínovému tvaru nože.

Lze je rozdělit podle několika kritérií [7]:

1. Podle sekacího (štěpkovacího) agregátu:

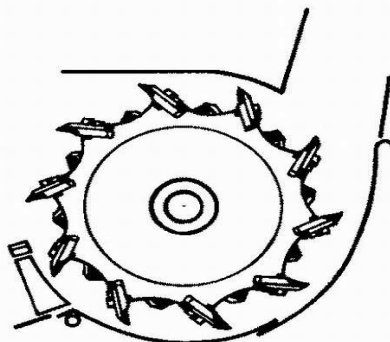
- **Diskové štěpkovače** – jsou nejrozšířenějším zařízením využívaným na výrobu štěpky. Jejich základ tvoří kruhový disk [obr. 15.] opatřený několika noži (2 až 16).



Obr. 15.: Diskový štěpkovač [9]

V současné době se tyto štěpkovače vyrábějí ve dvojím provedení. Jedna varianta má rovinu sekání skloněnou pod úhlem α k ose dopravníku. V důsledku tohoto dochází ke vtahování dřeva k sekacímu rotoru, a to silou vyvolanou přímo sekacími noži. Druhá modifikace využívá roviny sekání kolmé na osu dopravníku a pootočené vůči jeho ose o úhel β (i při velkých průměrech sekacího disku je možné zmenšit výšku podávacího zařízení). Teoretická výkonnost diskových štěpkovačů dosahuje hodnoty okolo 30 prms/hod (pozn. prms – prostorový metr sypaný).

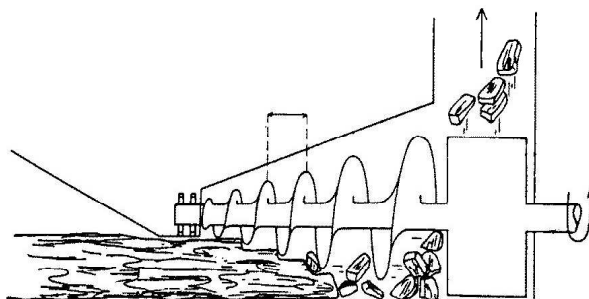
- **Bubnové štěpkovače** – liší se od diskových tím, že sekací nože bubnových štěpkovačů [obr. 16.] jsou uloženy na obvodu rotujícího válce. Obvykle bývají vybaveny podávacím pásem a vtahovacími válci pro transport hmoty k rotoru s břity (noži). Vtahovací válce jsou opatřeny hroty tvarovanými tak, aby umožňovaly posunování i nesourodého materiálu. Pohyblivé uchycení horního podávacího válce umožňuje nastavení vstupního otvoru pro různé velikosti štěpkovaného materiálu. Po obvodu rotoru (bubnu) jsou pevně připevněny břity, které bývají horizontálně děleny na více jednotlivých segmentů. Tyto bývají vyráběny ze směsi tvrdých, pevných a odolných kovů.



Obr. 16.: Bubnový štěpkovač [9]

Bubnovým sekacím zařízením jsou vybavovány štěpkovače dosahující výkonu až 200 prms/h. Takováto zařízení jsou umísťována na robustní samostatné podvozky, na podvozky nákladních automobilů nebo vyvážecích souprav a umožňují štěpkování měkkého dřeva o průměru až 900 mm a zhruba 700 mm v případě dřeva tvrdého.

- **Šroubové štěpkovače** – jsou jednoúčelová menší zařízení, jejichž sekací agregát má tvar šroubovice se stoupajícím průměrem [obr. 17.]. Tento princip lze připodobnit k mlýnku na maso. Šroubové štěpkovače se používají zejména ke zpracování tenkých stromků a kmínků s tloušťkou okolo 1 cm.



Obr. 17.: Šroubová sekačka [9]

2. Podle celkového technického řešení:

- **Stacionární štěpkovače** – pracovní agregát, skládající se ze statoru a rotoru, je trvale zabudován do technologické linky na pevných základech. Před sekacím agregátem je

v lince zařazeno přísunové a podávací zařízení, za agregátem pak následuje zařízení na odvod štěrky (potrubí nebo dopravník).

- **Mobilní štěpkovače** – pojízdná štěpkovací zařízení mají sekací agregát stejný, jako zařízení stacionární. Odlišují se tím, že jsou vybavena podvozkem umožňujícím jejich přesun. V praxi se vyskytují štěpkovače umístěné na samostatném podvozku [obr. 18.], podvozcích nákladních automobilů, vyvážecích souprav [obr. 19.] a přívěsích.



Obr. 18.: Štěpkovač na samostatném podvozku [7]

3. Podle způsobu dávkování materiálu do štěpkovače:

- **S ručním dávkováním** – zařízení s ručním dávkováním vstupující suroviny se užívají pro zpracování tenkého odpadového dříví menších objemů.
- **S mechanickým dávkováním dřeva** – pro přísun štěpkovaného materiálu se obvykle využívá hydraulická ruka, která je součástí podvozku [obr. 19.], na němž je umístěn štěpkovač. Příslušenstvím takovýchto štěpkovačů bývá také elektronická pojistka proti přetížení motoru, která v případě potřeby zablokuje přísun vstupující hmoty do té doby, než je předešlý materiál zpracován a rotor získá potřebné otáčky.



Obr. 19.: Štěpkovače umístěné na podvozku nákladních automobilů a návěsů [7]

Vlevo je znázorněn štěpkovač umístěný na podvozku nákladního automobilu (Pezzolato PTH 1000) a vpravo štěpkovač na podvozku vyvážecí soupravy (vyvážecí souprava Rottne, štěpkovač Bruks 805 CT). Oba jsou vybaveny hydraulickou zásobovací rukou.

4. Podle způsobu pohonu sekacího a ostatních agregátů:

- **Štěpkovače s pohonem od motoru bázevého stroje** – drobnější vstupní materiál.
- **Štěpkovače s pohonem od separátního motoru** – zařízení tohoto typu jsou vhodná pro zpracování koncentrovaných zbytků po těžbě, korunových částí nebo celých stromů.

3.4.3. Drtiče

Drtiče jsou zařízení určená pro úpravu rozměrů dřeva, které není možné zpracovat pomocí štěpkovačů. Jedná se zejména o dřevo drobné, mimořádně netvárné (křoviny apod.) a znečištěné (pařezy, stavební odpad atd.). Funkce drtícího zařízení je založena, podobně jako v případě štěpkovačů, na rozdělení materiálu pomocí pevných či otočných nožů.

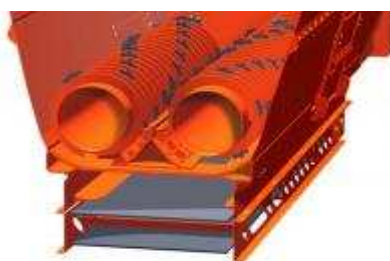


Obr. 20.: Rychloběžný drtič [7]

Průřez drtící jednotkou (Jenz), rychloběžný drtič na dvounápravovém kolovém podvozku (Dnoppstadt AK 430), vpravo rychloběžný drtič na pásovém podvozku (Vermeer HG 365).

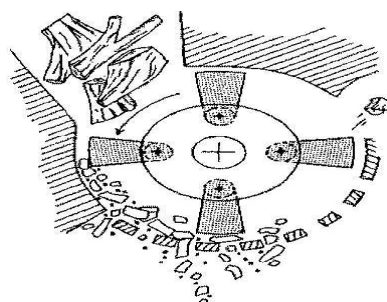
Drtiče se zpravidla rozdělují na:

1. **Drtiče nízkootáčkové** – základní pracovní součástí nízkootáčkového drtiče je obvykle válec, po jehož obvodu jsou spirálovitě rozmístěny nože různých tvarů, [obr. 21.] podle nichž je vytvářen i protinůž. Tato zařízení jsou určena především k drcení rozměrově nehomogenního odpadu z nábytkářské výroby. V závislosti na počtu rotujících válců se rozdělují na jedno nebo dvouválcové [1].



Obr. 21.: Nízkootáčkový drtič [10]

2. **Drtiče vysokootáčkové** – využívají se především k homogenizaci odpadového dřeva z lesů. Dle tvaru drtícího agregátu se dělí na diskové, vybavené vertikálně umístěným diskem s malými břity (drcení pařezů a těžebního odpadu), a na bubnové se spirálovitě rozmístěnými noži nebo kladívky po obvodu bubnu (drcení větví, křovin, kůry apod.).



Obr. 22.: Kladivový drtič [9]

3.4.4. Zařízení na briketování a peletování

Výroba dřevěných briket [obr. 24.] a pelet [obr. 23.] je založena na slisování materiálu vhodné zrnitosti (velikost částic obvykle 8x8x1 mm, v závislosti na parametrech briketovacího lisu může být až 40 mm) za vysokého tlaku (až 31,5 Mpa) a teploty, při které dochází k plastifikaci ligninu, jenž slouží jako pojivo. Stlačením dochází ke značné objemové redukci vstupního materiálu v poměru přibližně 12:1 [1].



Obr. 23.: Dřevěné peletky [11]

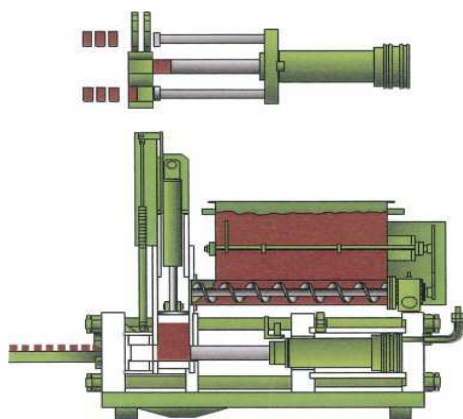


Obr. 24.: Brikety z makoviny [12]

Jako vstupní materiál pro proces výroby briket a pelet je nejčastěji užíváno dřevo a různé druhy rostlinné biomasy, objevují se i výrobky z nejrůznějších alternativních materiálů (papír apod.), v některých případech se uplatňují směsi dřevního odpadu, uhlénohledného prachu a malého množství mletého vápence, na který se váže síra z uhlí. Ta je pak méně uvolňována do ovzduší a převážně zůstává vázána v popelových komponentech (popel, popílek, úlet).

Slisováním základní suroviny dochází ke vzniku zušlechtěného paliva dosahujícího výhřevnosti 18 až 20 MJ·kg⁻¹, se zůstatkem popela do 1,2 %. Vyznačuje se relativní vlhkostí v rozmezí 5 až 9 %, malým obsahem síry (asi 0,07 %, na rozdíl od hnědého uhlí, které obsahuje až 2 %) a objemovou hmotností 800 až 1000 kg·m⁻³. Při relativní vlhkosti vzduchu do 80 % je možné tyto výrobky skladovat po téměř neomezenou dobu [4].

Tyto parametry jsou však vykoupeny energetickou náročností výroby briket a pelet, neboť tato vyžaduje větší dezintegraci vstupního materiálu při současné optimalizaci, obvykle snížení, jeho vlhkosti. Proto je výhodnější používat již dříve vysušený a dezintegrováný materiál, např. suché piliny a hobliny z dřevozpracujícího průmyslu. V některých provozech lze dosáhnout zlepšení ekonomické stránky výroby, zejména však palivových pelet, využitím stávajícího zařízení pro granulování krmiva (je potřeba zajistit větší tlak a nahrazení poddimenzovaného šrotovníku).



Obr. 25.: Pístový briketovací lis [13]

Schéma na tomto obrázku představuje tvarovací lis, který paralelně brikety lisuje a vypichuje.

1. *Materiál k briketování je pomocí dopravního šneku transportován do předzhuťovače.*
2. *Předzhuťovač materiál stlačí.*
3. *Hlavní lisovací válec slisuje briketu do její finální podoby.*
4. *Předjede výměnná forma a pomocí trnu je briketa vypíchnuta. Paralelně k tomu je lisována další briketa.*

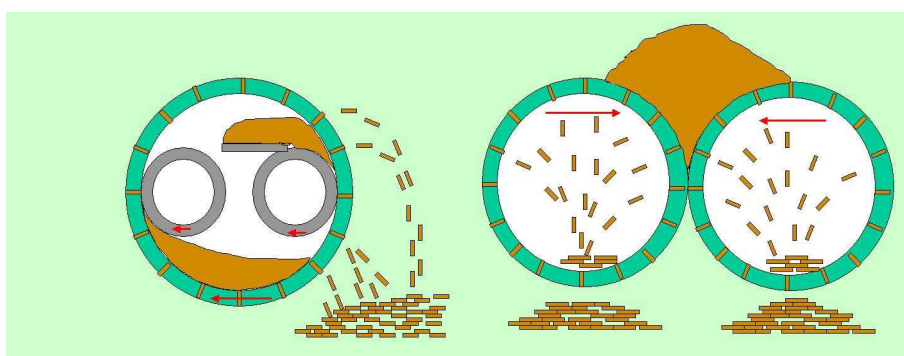
Zařízení na briketování a peletování se zpravidla rozdělují na [1]:

1. **Pístové hydraulické nebo mechanické lisy** – jedná se o univerzální jednorázové lisy [obr. 25.] vhodné pro výrobu briket s průměrem 50 až 60 mm. Samostatně dosahují výkonnosti kolem $250 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$, ale většinou jsou tvořeny dvěma lisovacími prvky, doplněnými jedním drtičem. Celkový příkon linky včetně dopravníků je přibližně 50 kW a výkonnost do $0,5 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$. Zpracovávaným materiálem obvykle bývají piliny, sláma, papír nebo pazdeří.
2. **Šnekové lisy jednovřetenové nebo dvouvřetenové** – výstupním produktem šnekových lisů [obr. 26.] jsou brikety, které se vyznačují vysokým stupněm stlačení a velkou trvanlivostí. Tyto lisy jsou vhodné zejména pro zpracování pilin a podobných materiálů, ale nehodí se ke zhutňování stébelnin. Příkon takovýchto zařízení se pohybuje kolem 60 kW při výkonnosti $0,5 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$.



Obr. 26.: Šnekový dvouvřetenový lis na výrobu briket [14]

3. **Protlačovací, granulační lisy** – tato zhutňovací zařízení [obr. 27.] obvykle bývají odvozena od granulačních lisů používaných na výrobu tvarovaných krmiv ze slámy a podobných materiálů. V praxi se vyskytují lisy s kruhovou, vertikální matricí a horizontální, deskovou matricí. Běžně dosahují výkonnosti větší než $1 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ při příkonu do 150 kW.



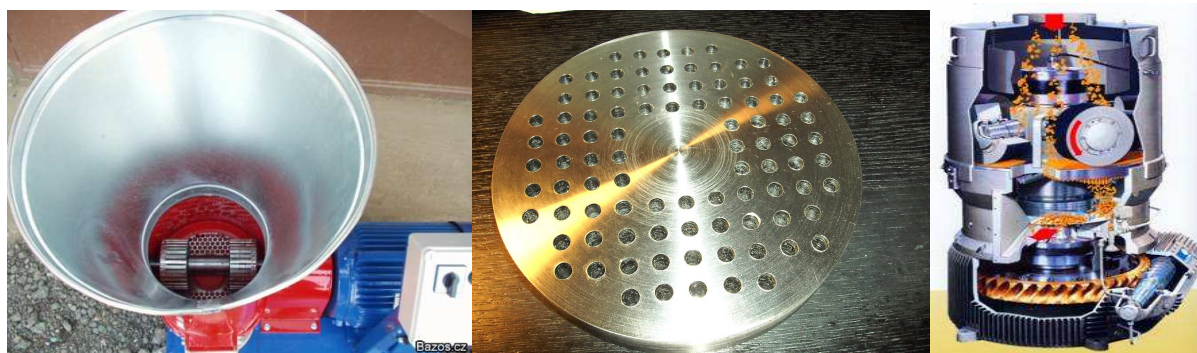
Obr. 27.: Granulační lis na výrobu pelet [15]

3.5. Zpracování energetických stébelnin

Základem zpracování energetických stébelnin pro následné energetické využití je samotná sklizeň sběracími zemědělskými vozy, jako jsou sběrací lisy na válcové balíky, lisy na hranaté balíky a svinovací lisy. Ze sklizeného materiálu se obvykle vyrábějí brikety a pelety, přičemž spotřeba přídatné energie na jejich výrobu nepřesahuje 5 % tepelného obsahu. I proto je

slaměná briketa, či peleta mnohými odborníky považována za ideální palivo, které dosahuje, v porovnání se vstupem, vysokého energetického výnosu.

Větší produkci takovýchto paliv brání především vysoké investiční náklady na potřebné stroje ve zpracovatelské lince. Tato bývá tvořena manipulačním zařízením, rozpojovačem balíků, drtičem u peletizačních protlačovacích lisů a vlastním lisem [obr. 28.]. Problémovou fází tohoto procesu je rozdrůžování již jednou slisovaného materiálu, který se navíc ještě šrotuje a opět lisuje. Opakované lisování je však nevyhnutelné, neboť volně ložená sláma zabírá značný prostor. Řešením této situace je použití takového zařízení, které by umožňovalo výrobu briket ze stébelnin přímo na sklizeném pozemku [1].



Obr. 28.: Paletizační protlačovací lis [16]

3.6. Mechanická úprava rychle rostoucích dřevin

V evropských klimatických podmínkách jsou dominujícími rychle rostoucími energetickými dřevinami především topol a vrba. Ve Španělsku a Portugalsku je v hojné míře pěstován eukalyptus, v severovýchodních zemích je nejvíce využívána vrba. V zemích s delší tradicí pěstování rychle rostoucích dřevin se jako pěstebních plantáží využívá především zemědělských ploch uvolněných z výroby potravin, čímž dochází k využití půdy, která by jinak zůstávala ležet ladem a docházelo k její degradaci.



Obr. 29.: Sklizeň rychle rostoucích dřevin [7]

Způsob úpravy rychle rostoucích dřevin je závislý především na samotném druhu plodiny, neboť například vrby s krátkou obměnou dobou jsou velmi podobné některým tradičním zemědělským plodinám (kukuřice, slunečnice) a k jejich sklizni je možné použít, po drobné úpravě, i standardní sklizňové stroje, např. sklízecí rezačky [obr. 29.]. Naopak u topolů a jiných listnatých stromů, jejichž obměná doba je obvykle tři až pět let a kmínky jsou proto podstatně silnější, je zapotřebí využít výkonnější speciální techniky.

V celosvětovém měřítku jsou pro sklizeň a zpracování rychlerostoucích dřevin využitelných k energetickým účelům používány dvě základní technologie, jimiž jsou [1]:

1. Technologii využívající většinou traktorem tažený odřezávač kmínků, které jsou dopravníkem vynášeny na ložnou plochu návěsu. Zde jsou buď ručně nebo mechanicky rovnány, případně svazovány do snopků. Snopky kmínků o hmotnosti až několika tun se následně exportují na místo dalšího zpracování, kde zhruba po půlročním proschnutí dochází k jejich štěpkování.
2. Technologie využívající většinou samojízdné nebo tažené sklízecí stroje, které jsou schopné okamžité výroby dřevní štěpky. Tato se sice vyznačuje větší vlhkostí, ale je snáze manipulovatelná. Takovýmto způsobem vyráběná štěpka je přednostně využívána pro velká topeniště s prostorem k dosušování paliva před vzplanutím.

4. Výrobky z biomasy

Biomasa jako energetický zdroj, je surovina, ze které je možné vyrábět paliva všech skupenství, tedy pevná, kapalná i plynná. A především proto je dostupné široké množství produktů, vyráběných z nejrozličnějších druhů biomasy. Vedle různorodých plyných produktů (bioplyn) nachází své uplatnění i kapalná výroba (bionafta), avšak stále největší množství biomasy a výrobků z ní je spotřebováno ve formě tuhého paliva využitelného pro přímé spalování v nejrozličnějších typech topenišť.

V samotném procesu přímého spalování biomasy se opět setkáváme s nepřeberným množstvím výrobků použitelných jako palivo. Takovým základním energetickým zdrojem lze označit obyčejné kusové dřevo, které obvykle bývá záměrně těženo v lesních porostech nebo pochází z odpadu dřevozpracujících firem. Dalším velmi používaným výrobkem je dřevní štěpka, jejíž původ je podobný, jako v případě topného dřeva, od kterého se liší zejména svou strukturou. Její výroba spočívá v cíleném drcení dřevní části na útvary o velikosti přibližně 2,5 až 5 cm, což jí zaručuje lepší skladovatelnost, manipulovatelnost, menší obsah vody a po spálení i méně popela.

Společným nedostatkem takovýchto produktů vyráběných z pevné biomasy je především fakt, že si spotřebitel nikdy nemůže být jistý tím, co vlastně od dodavatele obdrží. Například, při těžbě v lese se využívá nejrozličnějších druhů stromů a při nakládce, jak samotného dřeva, tak štěpky se do nákladu může dostat i množství nechtěných příměsí, jako je hlína či šterk. Takovéto složky pak většinou negativně ovlivňují vlastnosti paliva.

V současné době se stále většímu zájmu těší výrobky z biomasy, v tom pravém smyslu slova, jakými jsou pelety a brikety. Těchto opět existuje velké množství v závislosti na druhu biomasy, ze které jsou vyrobeny. Mohou nabývat různých tvarů, ale mají společné především to, že pro možnost konkurenceschopnosti a požadavky trhu bývají vyráběny dle určitých norem, které zaručují jejich vlastnosti.

Oproti jiným pevným palivům se vyznačují zejména nižším obsahem síry a těžkých kovů, vyrovnanou energetickou bilancí a příliš nezatěžují ovzduší skleníkovými plyny. Popel zbylý po jejich spálení se využívá jako hnojivo nebo je kompostován.

4.1. Brikety

Z energetického hlediska briketou obvykle rozumíme mechanicky zhutněný, drobný hořlavý materiál, který bývá vyhotoven z nejrozličnějších druhů hořlavých látek a často nabývá velmi odlišných tvarů. Na trhu se můžeme setkat s briketami válcovitého tvaru o různém průměru a délce, ale také s výrobky v podobě kulovitých těles, nejrozličnějších oválných tvarů,

kvádrů nebo kostek. Samotný tvar briket je však pro proces spalování fakticky nepodstatný. Obvykle se pro výrobu briket slisovávají hořlavé materiály, nejčastěji pak uhelný prach a biomasa.

Brikety jsou využívány jako tuhé palivo, spalující se obvykle v kamnech či v kotelnách, přičemž získávají stále větší popularitu, a to především díky tomu, že spadají do skupiny tzv. ekologických paliv a nabízejí uživateli relativně komfortní způsob obsluhy vytápěcího systému. Toto platí zejména v případě briket vyráběných z biomasy, jež se vyznačují nízkým obsahem síry (asi 0,07 %), nízkou popelnatostí (0,5 %) a vysokou výhřevností (asi 19 MJ/kg), což uživateli umožní dosáhnout nízkých nákladů na vytápění [1], [4].

4.1.1. Výroba briket

Pro výrobu briket lze použít velmi širokou paletu hořlavých materiálů, které však musí být rozduženy [obr. 30.], v případě biomasy nejčastěji pomocí štěpkovačů či drtičů, na částech takových rozměrů, aby bylo možné z nich pomocí lisů vyrábět brikety. Základního materiálu vhodné zrnitosti a vlhkosti se zpracovává v briketovacím lisu za vysokého tlaku (asi 31,5 MPa) a teploty (přibližně 160 °C), při níž se plastifikovaný lignin stává pojivem. Takovéto zpracování vede ke značné objemové minimalizaci paliva a vytvořené brikety tak dosahují vysoké hustoty (1200 kg/m³) [3].

V současné době se využívá zejména dvou nejběžnějších způsobů výroby spalitelných briket a to především těchto [4]:

- **Výroba briket na hydraulickém briketovacím lisu** – tato metoda je založena na zhuštění základního hořlavého materiálu tlakem razníku hydraulického lisu směrem proti komoře naplněné lisovaným materiálem. Jedná se o zhuštění tlakem, tedy pouze mechanické, a využívá se zejména při lisování dřevní hmoty o vlhkosti do 12 %.
- **Výroba briket šnekovým briketovacím lisem** – tento postup výroby briket se osvědčuje především při použití u materiálů, jako je sláma, seno a jiné stébelniny. Výroba briket na šnekovém lisu je založena na protlačování vstupního materiálu tlakem šneku skrze předehřívanou komoru, ve které dochází k uvolňování přirozených pojiv z lisovaného materiálu. Tlakem šneku a následným zchlazením brikety dochází k získání finální tvrdosti výrobku.



Obr. 30.: Rozdužený základní materiál dřevěné brikety

4.2. Pelety

Jako pelety lze označit drobnější tělíška válcovitého tvaru, která mají menší rozměry (délka 10 až 50 mm, průměr 6 až 8 mm) než brikety. Dosahují výhřevnosti 17 až 18 MJ/kg a obsahu vlhkosti pohybujícího se mezi 8 až 10 %. Pelety, podobně jako brikety lze rozdělit podle druhu materiálu, ze kterého jsou vyráběny. Převážně se jedná o lesní biomasu, tj. pelety

ze dřeva, hoblovaček, pilin, kůry stromů, lesní štěpky a rychle rostoucích dřevin. Bývají vyráběny také z tzv. nedřevní biomasy pocházející ze zemědělské produkce, např. pelety z obilné slámy, řepkové a kukuřičné, z travní biomasy a ze sena. Stále větší význam získávají pelety z energetických rostlin, např. šťovíku, chrastice rákosové, ozdobnice a dalších.

Pro výrobu je možné využívat také biomasu z jiných činností, např. z údržby krajiny, ze zahrad a podobně. Svou oblibu, podobně jako brikety, získávají jednak ohleduplností k životnímu prostředí, ale také tím, že umožňují poměrně snadné zautomatizování celého spalovacího procesu.

4.2.2. Výroba pelet

Obdobně jako v případě briket, také pro výrobu pelet je využíváno, jako základního materiálu, nejrůznějších hořlavých látek, které musejí být rozdruženy na jemné částičky tak, aby vznikla sypká směs. Tato se dále zpracovává lisováním, při teplotě 160 °C a tlaku 31,5 MPa s možností přidání pojiv [4].



Obr. 31.: Výstup z paletizačního zařízení, balené dřevní brikety [16]

Pro potřeby trhu a dosahování určité kvality spalovacího procesu takovýchto výrobků z biomasy je důležité, aby tyto produkty dosahovali určitých kvalitativních vlastností, podle kterých může spotřebitel zjistit, jaké palivo hodlá využívat. Na základě těchto specifikací, které jsou v některých zemích k dispozici v podobě norem, je pak potřeba provádět kontroly kvality, vedoucí k jejich dodržování.

4.3. Sledované vlastnosti výrobků z biomasy

Možné využití výrobků z biomasy jako paliva je určené chemickými a fyzikálními vlastnostmi daného produktu, které by měli být zohledněny i při konstrukci spalovacích zařízení. Je tedy důležité, aby využívaná biopaliva dosahovala určitých parametrů, jenž budou, co možná nejvíce konstantní. Ke stanovení těchto parametrů dochází v akreditovaných laboratořích, které obvykle na základě naměřených vlastností vystavují danému palivu certifikát kvality [příloha E].

Při provádění analýzy vzorků biopaliv je velmi důležité, obdobně jako u analýz jiných výrobků, správně provést jeho odběr. Tento by měl být prováděn odbornými pracovníky, a to především proto, že samotný odběr vzorků, nesprávné uchovávání a transport může vést ke změně původních vlastností, např. vlhkosti, či k jejich kontaminaci. Postupy užívané pro odběry vzorků jsou stanoveny obecnou normou pro vzorkování tuhých biopaliv ČSN P CEN/TS 14778-1, jedná se o odběr z haldy, z proudu, z palet apod. nebo podle normy ČSN P CEN/TS 14778-2 pro vzorkování z nákladních automobilů [2].

Analýzy vzorků biopaliv bývají prováděny především se zaměřením na ty parametry, které jsou podstatné z hlediska průběhu spalovacího procesu či ochrany životního prostředí.

Provádí se především stanovení spalného tepla a výhřevnosti, hustoty, sypné hmotnosti, obsahu vody, popela, prchavé hořlaviny, síry, dusíku, vodíku, uhlíku, chlóru, mechanické odolnosti pelet a briket, rozměrů pelet a briket, zrnitostního rozdělení a obsah kovů.

- **Spalné teplo a výhřevnost:** Z pohledu energetického využití biomasy, nejdůležitějšími vlastnostmi paliva jsou právě výhřevnost a spalné teplo. Jejich znalost je důležitá především pro stanovení využitelnosti daného paliva ve spalovacím procesu. Spalné teplo Q_s [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$] je teplo vzniklé dokonalým spálením 1 kg paliva, přičemž dojde k uvolnění v palivu obsažené vody, a to v kapalném stavu. Obdobně je definována také výhřevnost Q_i [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$], tedy jako teplo vzniklé dokonalým spálením 1 kg paliva, avšak voda z něho uvolněná je v podobě páry. Při stanovování těchto veličin se obvykle postupuje dle normy ČSN P CEN/TS 14918 a DIN 51 900 část 1-3. Provádí se v kalorimetru, ve kterém dojde ke spálení vzorku v kyslíku, za současného uvolnění spalného tepla. Z tohoto se následně pomocí početního vztahu určí výhřevnost [4]:

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (w + 9 \cdot H_2) \text{ [MJ}\cdot\text{kg}^{-1}]$$

Q_i je výhřevnost paliva [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$], Q_s je spalné teplo paliva [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$], w je energetická (relativní) vlhkost paliva [$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$] a H_2 je obsah vodíku v palivu [$\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$].

- **Obsah vody:** Biomasa je charakterizována poměrně vysokým a druh od druhu se lišícím obsahem vody, který v palivu do určité míry ovlivňuje energetické vlastnosti, především výhřevnost paliva. Také pro bezproblémový proces výroby kvalitních pelet a briket je důležité zajistit správnou vlhkost základního materiálu. Množství obsažené vody v palivu tuhé biomasy se běžně stanovuje jako celková voda, a to na základě ČSN P CEN/TS 14774-1 až 3 nebo DIN 51 718. Samotná měřicí metoda je založena na zjištění úbytku hmotnosti vážením, čemuž předchází vysušení vzorku při teplotě 105 °C. V energetice se přitom obsah vody vyjadřuje na základě relativní vlhkosti [3]:

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 = \frac{\Delta m}{m_1} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Můžeme se však také setkat s vyjádřením používaným v dřevozpracujícím průmyslu, které je založeno na stanovení absolutní vlhkosti dřevní hmoty. Pro přepočty mezi absolutní a relativní vlhkostí je využíván vztah [4]:

$$w = \frac{w_{dr}}{100 - w_{dr}} \text{ [%]}$$

M_1 je hmotnost vzorku surové dřevní hmoty [kg], m_2 je hmotnost vzorku po vysušení [kg], Δm je úbytek hmotnosti vzorku vlivem vysušení [kg], w je relativní vlhkost paliva, w_{dr} je absolutní vlhkost, daná vztahem:

$$w_{dr} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \text{ [%]}.$$

- **Sypná hmotnost m [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]:** Využívá se pro stanovení hustoty energie, což v praxi umožňuje posoudit požadovanou skladovatelnost nebo nároky na prostor při převozu. Bývá definována jako poměr hmotnosti sypkého materiálu v objemu, který tento materiál zaujme volným sypáním. Stanovení sypné hmotnosti se provádí na základě ČSN P CEN/TS 15103, nasypáním biopaliva do normované nádoby a jejím zvážení.

- **Obsah popela:** Dalším důležitým parametrem je obsah popela, podle jehož charakteru lze usuzovat na vznik nánosů ve spalovacím prostoru a na charakter popelovin. Jeho analýzou se také získávají informace o obsahu nejrozličnějších chemických prvků, což je důležité nejen z hlediska životního prostředí. Pro stanovení obsahu popela v tuhém palivu se běžně vychází z norem ČSN P CEN/TS 14775 a DIN 51 790, jejichž podstatou je spálení vzorku a jeho vyžhání do konstantní hmotnosti. Obsah popela v palivu je vyjádřen na základě vztahu [4]:

$$A = \frac{m_p}{m_d} \cdot 100 \text{ [%]}$$

A je obsah popela v palivu [% hmotnosti], m_p je hmotnost popela [g], m_d je hmotnost absolutně suchého vzorku paliva [g].

- **Stanovení obsahu dusíku, uhlíku a vodíku:** Tuhá paliva se skládají z hořlaviny (h), určitého obsahu popela (A) a vody (w). Obecně lze složení paliva vyjádřit takto [4]:

$$h + A + w = 1 \text{ [-]} .$$

Hořlavinu tvoří ta část paliva, jejíž oxidací se uvolňuje teplo. Je tvořena tzv. prvky aktivními, jakými jsou uhlík, vodík, případně síra a tzv. látkami pasivními, které teplo nedodávají, ale jsou vázané v organické hmotě. Stanovení dusíku, uhlíku a vodíku se provádí nejrozličnějšími instrumentálními metodami podle ČSN P CEN/TS 15104. Složení hořlaviny lze tedy vyjádřit vztahem [4]:

$$h = C + H_2 + S + N_2 + O_2 = 1 \text{ [-]} .$$

- **Koncentrace síry a chlóru:** Z hlediska ochrany spalovacího zařízení před korozi je vhodné znát koncentrace síry a chlóru, které jsou obsaženy v tuhých biopalivech. Tyto se během hoření přeměňují na oxidy síry a chloridy, které způsobují větší náchylnost materiálu spalovacího zařízení k vysokoteplotní korozi a navíc ohrožují životní prostředí. Stanovení celkového obsahu síry a chlóru se pro tuhá biopaliva provádí podle ČSN P CEN/TS 15289. Stanovení může být prováděno elementárními analyzátory nebo jinými metodami [3].
- **Obsah prchavé hořlaviny:** Vysoký podíl prchavé hořlaviny ovlivňuje emise a její množství má vliv také na celý proces spalování, a to zejména v případě biomasy, u které se její obsah pohybuje okolo 75%, přičemž nejvíce jí obsahuje dřevo. Stanovení prchavé hořlaviny se u biopaliv provádí podle ČSN P CEN/TS 15148, a to žháním vzorku v muflové peci bez přístupu vzduchu na tak vysokou teplotu, aby ze zbytku po karbonizaci došlo k úniku veškeré prchavé hořlaviny [3].
- **Kovy a jiné prvky:** Kovy a jiné prvky se do tuhých biopaliv mohou dostat například ze zeminy (při skladování, transportu nebo manipulaci), z dopravy (kontaminace solí užívané k úpravě silnic), použitých nástrojů či strojů (kontaminace Fe, Cr, Ni, maziva), ale také z různých konzervačních chemikálií (kontaminace As, B, Cl, Cr, Cu, F, P, Zn), barev (kontaminace Cd, Pb, Ti), použitých aditiv (např. vápenec – kontaminace Ca, kaolin – kontaminace Si, Al) či chemických přísad (louhy, lepidla, pojiva). Určení obsahu hlavních prvků v biopalivech se provádí na základě ČSN P CEN/TS 15290, užitím vhodné přístrojové techniky [3].
- **Mechanické vlastnosti a mechanická odolnost briket a pelet:** Analýza mechanických vlastností a odolnosti je v případě pelet a briket nejčastěji zaměřena na určení

rozměrů, hustoty a otěru. Hustota se stanovuje na základě ČSN P CEN/TS 15150, zavěšením pelety či brikety na zkušební trojnožku a následným zanořením do nádoby s vodou. Poté se na základě vztlaku vypočítá hustota pelety nebo brikety. Dalším měřeným parametrem je tzv. otěr. Tento je důležitý především pro pelety dávkované do spalovacích zařízení. Tato zkouška se provádí podle norem ČSN P CEN/TS 15210-1 (pelety) a ČSN P CEN/TS 15210-2 (brikety), otáčením testovaných vzorků v bubnu, kde narážejí na lopatku, kterou je buben rozdělen, a tím dochází k jejich otěru. Součástí této zkoušky může být i určení jemných částic pod 3,15 mm, které jsou z otěru vyděleny síťováním [3].

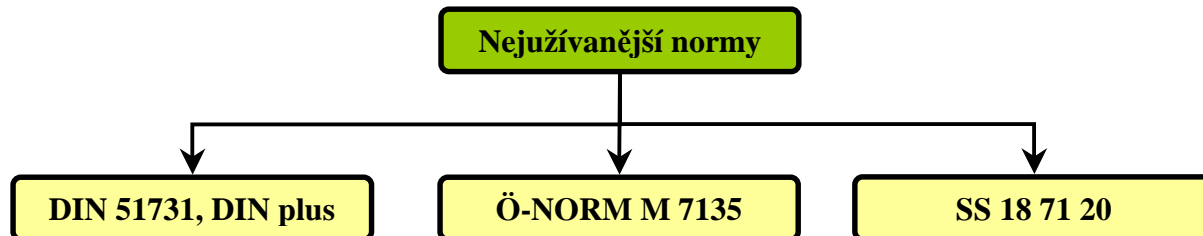
- **Specifikace použitých aditiv:** Tato zkouška je využívána zejména ke stanovení množství a typu výrobcem použitých aditiv, jejichž přidáním do paliva lze ovlivnit jeho výsledné vlastnosti.

4.4. Porovnání užívaných norem

Na současném trhu výrobků z biomasy se můžeme setkat s několika normami upravujícími jejich kvalitativní vlastnosti. Tyto předpisy se od sebe liší jak surovinou pro výrobu pelet, tak parametry, ale také zkušebními postupy, případně dalšími požadavky týkajícími se samotné výroby daných produktů. Jejich součástí je i sledování kvality výrobků během výrobního procesu.

Pro potřeby trhu s těmito výrobky je na území Evropské unie vyvíjena velká snaha o sjednocení těchto ustanovení, která by měla vést k vytvoření jedné společné normy platné pro všechny členské státy unie.

V současnosti se nejvíce uplatňují především tyto:



Obr. 32.: Nejužívanější normy pro výrobky z biomasy

V České republice se využívají především normy německé (DIN 51731, DIN plus), rakouské (Ö-NORM M 7135) a švédské (SS 18 71 20), a to zejména z důvodu konkurenceschopnosti výrobků exportovaných do těchto zemí. Avšak vedle zahraničních se můžeme setkat i s českými předpisy, které se na danou problematiku zaměřují. Těmito jsou norma ČSN P CEN/TS 14961 - Tuhá biopaliva a Technická směrnice č. 55 – 2008.

Při pohledu na normami stanovené hodnoty kvalitativních vlastností pevných biopaliv, [tab. 7.] je zřejmé, že zejména mezi německými a rakouskými předpisy je jen minimální rozdíl. Co se českých předpisů týče, evropská specifikace ČSN P CEN/TS 14961 je celkově komplexnější a zabývá se peletami vyráběnými nejen ze dřeva, ale i z jiných druhů biomasy, zatímco směrnice č. 55 – 2008 je zaměřena čistě na bylinnou biomasu, tedy především na výrobky z ní produkované.

- **Norma ČSN P CEN/TS 14961 - Tuhá biopaliva:** Jedná se o předběžnou českou normu vydanou v roce 2005. Tento stav umožňuje její rychlý vývoj směrem k čisté EN normě a to formou připomínek uživatelů k jejímu obsahu. Předpis mimo jiné uvádí také specifikace vlastností tuhých biopaliv, které dělí na normativní a informativní,

a to pro širokou skupinu zahrnující brikety, pelety, dřevní štěpku, polena, piliny, kůru, balíky slámy, olivové výlisky a ostatní tuhá biopaliva [2].

Tab. 7.: Porovnání nepoužívanějších norem určujících vlastnosti pelet a briket [3]

Norma	DIN Plus (DIN 51731)	Ö-NORM M 7135	SS 18 71 20	ČSN P CEN/TS 14961 (Směrnice č. 55-2008)
Druh biomasy	Dřevní biomasa	Dřevní pelety, (pelety z kůry)	Dřevní biomasa	Dřevní, bylinná, ovocná biomasa, směsi a příměsi (Bylinná biomasa)
Průměr pelety d [mm]	$4 \leq d < 10$	$4 \leq d < 10$ ($4 \geq d < 10$)	< 25	5 druhů rozměrů od 6 mm do 25 mm (≤ 25)
Délka pelety [mm]	$\leq 5 \times d$ (< 50)	$\leq 5 \times d$ ($\leq 5 \times d$)	$< 5 \times d$	5 druhů rozměrů od $L \leq 5 \times$ průměr do $L \leq 4 \times$ průměr (neudává)
Sypná hmotnost [kg/dm ³]	$\geq 1,12$ ($> 1,0$ až $1,4$)	$\geq 1,12$ ($\geq 1,12$)	$> 0,5$	Doporučeno stanovit při prodeji v obj. jednotkách ($\geq 1,12$)
Obsah vody [%]	$\leq 10,0$ (< 12)	$\leq 10,0$ ($\leq 18,0$)	< 10	3 třídy (≤ 10)
Obsah popela [%]	$\leq 0,50$ ($< 1,5$)	$\leq 0,50$ ($\leq 6,0$)	$< 1,5$	5 tříd (≤ 6)
Výhřevnost [MJ/kg]	$\geq 18,0$ ($17,5$ až $19,5$)	$\geq 18,0$ ($\geq 18,0$)	$> 16,9$	Doporučeno informovat (≤ 16)
Obsah síry [%]	$\leq 0,04$ ($< 0,8$)	$\leq 0,04$ ($\leq 0,08$)	$< 0,08$	4 třídy ($\leq 0,15$)
Obsah dusíku [%]	$\leq 0,30$ ($< 0,30$)	$\leq 0,30$ ($\leq 0,60$)	Neudává	5 tříd ($\leq 0,9$)
Obsah chloru [%]	$\leq 0,02$ ($< 0,03$)	$\leq 0,02$ ($\leq 0,02$)	$< 0,03$	4 třídy ($\leq 0,18$)
Otěr [%]	$\leq 2,3$ (žádný)	$\leq 2,3$ ($\leq 2,3$)	Žádný	3 třídy ($\leq 2,3$)
Pojivo [%]	$\leq 2,0$ (není povolen)	$\leq 2,0$ ($\leq 2,0$)	-	Určit druh a obsah (≤ 6)
Jemné částice [%]	-	-	-	3 třídy (-)
Skladovatelnost [měsíce]	-	-	-	≥ 6 (≥ 6)

DIN Plus a DIN 51731 (německá norma), Ö-NORM M 7135 (rakouská norma), SS 18 71 20 (švédská norma), ČSN P CEN/TS 14961 (česká norma), Směrnice č. 55-2008 (česká technická směrnice).

- **Technická směrnice č. 55 – 2008:** Tato směrnice vydaná Ministerstvem životního prostředí ČR v roce 2008 stanovuje, za jakých podmínek lze topným peletám vyrobeným z bylinné fytoomasy, tedy z rostlin, které nemají dřevitý stonek a odumírají na konci vegetační doby, propůjčit ochrannou známku „Ekologicky šetrný výrobek“. Zmíněná směrnice je součástí Národního programu označování ekologicky šetrných výrobků, přičemž její součástí je i specifikace stávajících zkušebních metod podle norem ČSN P CEN/TS, jimiž se stanovují jednotlivé parametry pelet [2].
- **Normy DIN Plus, DIN 51731, Ö-NORM M 7135 a SS 18 71 20:** Tyto předpisy jsou si velmi podobné. Avšak norma DIN 51731 je současné praxi stále více vzdálena, neboť nezohledňuje množství otěru, ani možnost využívání pojiv, která se přidávají pro dosažení lepšího zhutnění lisovaných pelet. Tyto navíc díky přísadám opticky získávají bílou barvu a prokazatelně se lépe prodávají. Podobně je tomu také u švédské SS 18 71 20, která nestanovuje dovolenou hranici otěru, ani dusíku a navíc připouští poměrně nízké hodnoty sypné hmotnosti. Německé normy DIN 51731, DIN plus a rakouská Ö-NORM M 7135 obsahují postup k získání označení DIN prüft, resp. Ö-NORM prüft, dle požadavků daného certifikačního orgánu, avšak zabývají se pouze kvalitou pelet ze dřeva nebo kůry [2].

5. Experimentální porovnání vlastností výrobků z biomasy

Pro porovnání vlastností výrobků z biomasy bylo provedeno laboratorní měření několika druhů briket a pelet vyrobených z různých materiálů, přičemž skupina výrobků zahrnovala vzorky jak čistě experimentální, tedy předem neznámých vlastností, tak takové, jejichž charakter byl popsán certifikátem kvality, kterým výrobce deklaruje vlastnosti jím vyráběných paliv. Tento byl vyhotoven na základě rakouské normy ÖNORM M 7135 a německé DIN 51731 [příloha E].

V závislosti na vybavenosti laboratoře bylo provedeno porovnání těchto vlastností:

- Sypná hmotnost
- Hmotnost a rozměry jednotlivých vzorků
- Stanovení obsahu vody
- Spalné teplo
- Výhřevnost
- Stanovení obsahu popela
- Hustota
- Experimentální určení otěru

5.1. Stanovení vlastností výrobků z biomasy

Měření vlastností vybraných vzorků pevných biopaliv probíhalo v laboratořích Energetického ústavu VUT v Brně pod dozorem Ing. Jiřího Moskalíka. Vlastnosti byly určovány na několika typech pelet a briket. Skupina pelet byla tvořena dvěma druhy dřevěných pelet (pelety Biomac a experimentální dřevěné pelety), dále slaměnými a šťovíkovými peletami. Brikety byly zastoupeny třemi typy dřevěných (brikety Biomac, dřevěné brikety ze dřevní směsi a ze světlých hoblin), papírovými a slaměnými briketami. Pro dosažení, co možná nejměrodatnějších hodnot, bylo měření každého vzorku opakováno třikrát, pouze stanovení otěru se provádělo jenom jednou, neboť v důsledku použití improvizovaného měřicího postupu je výsledná hodnota spíše orientační.

Základ měření tvořilo stanovení rozměrů vzorků (posuvným měřidlem) a jejich kusové hmotnosti na digitálních vahách, v případě pelet doplněné a určení sypné hmotnosti. Tato byla stanovena na základě nasypání pelet do skleněného odměrného válce o objemu 1000 ml, následným zvážením a zjištěním rozdílu v hmotnosti prázdného válce vůči plnému.

Stěžejní část měření spočívala v určení obsahu vody ve vzorku, spalného tepla a obsahu popela. Vlhkost byla stanovena za pomoci vysoušecího zařízení [příloha F], do kterého byla vložena rozdružená hmota vzorku (zhruba 10 g) a na základě nastaveného programu se při teplotě 120 °C tento materiál vysoušel, dokud nedošlo k odpaření většiny obsažené vody. Z rozdílu hmotností přístroj sám určil vlhkost daného vzorku. Ke změření spalného tepla byl využit kalorimetr [příloha F], do něhož byl opět vložen rozdružený materiál původního vzorku (zhruba 1,5 g), ale tentokrát uzavřený v tlakové nádobce naplněné kyslíkem. Po vložení nádoby se vzorkem do kalorimetru a jeho zapnutí došlo k zahoření vzorku, na základě čehož zařízení na výstupním displeji zobrazilo výslednou hodnotu spalného tepla. Obsah popela byl určen, jako rozdíl hmotnosti rozdruženého materiálu vzorku před spálením a po spálení, ke kterému došlo po umístění materiálu v žáruvzdorné misce do elektrické pece [příloha F], kde byl při teplotě 600 °C ponechán až do jeho vyhoření a vyžihání, což trvalo zhruba 1,5 hodiny.

Na závěr bylo, pouze jako orientační, provedeno stanovení otěru pelet pomocí prosévacího zařízení, kdy po třech minutách činnosti tohoto přístroje byl určen oter, a to na základě rozdílu hmotností před a po prosetí. Avšak podle norem by vzorek měl být omílán v bubnu, narážením do uvnitř umístěné lopatky a výsledný oter určen, jako úbytek hmotnosti vzorku.

5.1.1. Výpočty

Při stanovování vlastností vybraných vzorků biopaliv byly některé parametry určeny na základě níže uvedených vztahů. Pro názornost jsou výpočty uvedeny pouze u prvního vzorku zkoušených paliv. Výpočty následných vzorků jsou analogické a jsou uvedeny jako příloha této práce [příloha A, B].

Velikost otěru byla experimentálně určována na prosévacím zařízení, tedy nenormovaným způsobem, a proto výsledné hodnoty lze považovat pouze za orientační.

- **Hustota ρ :**

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

V je objem vzorku [m^3], m je hmotnost vzorku [kg], ρ je výsledná hustota vzorku [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

- **Výhřevnost Q_i :**

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (w + 9 \cdot H_2) \text{ [MJ} \cdot \text{kg}^{-1}]$$

Q_i = výhřevnost paliva [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$], Q_s = spalné teplo paliva [$\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$], w = energetická vlhkost paliva [-], H_2 = obsah vodíku (na doporučení vycházející z dlouhodobých pozorování nejrozličnějších materiálů pro výrobu biopaliv je volena průměrná hodnota obsahu vodíku 5,3 %).

- **Obsah popela A :**

$$A = \frac{m_p}{m_d} \cdot 100 \text{ [%]}$$

A je procentuelní obsah popela v palivu, m_p je hmotnost popela a m_d hmotnost absolutně suchého vzorku paliva (na doporučení bylo palivo ponecháváno v peci při teplotě 600 °C až do úplného vyhoření).

5.2. Peleta Biomac (Dřevěná ekopeleta Biomac) – měření

5.2.1. Specifikace výrobku dle výrobce

Surovina: Čisté suché hoblovačky z měkkého dřeva.

Tvar: Válcovitého tvaru (Ø 6.25 mm)

Základní vlastnosti: Slisování 1220 kg/m³

Výhřevnost 18,8 MJ/kg

Obsah popela 0,33 %

Obsah vody 7,3 %

Otěr 0,8 – 1,5 %

Certifikace: Ö-NORM (r.n.: N2004 180)



Obr. 33.: Peleta Biomac

Tab. 8.: Naměřené hodnoty – peleta Biomac

	<i>Rozměr Dxl</i> [mm]	<i>Hmotnost m (1 ks)</i> [g]	<i>Sypná hmotnost m</i> [g·l ⁻¹]	<i>Obsah vody w</i> [%]	<i>Spalné teplo Q_s</i> [MJ·kg ⁻¹]	<i>Otěr</i> [%]
1	6,2x31,9	1,0258	607,7	7,849	17,123	1,1
2	6,3x25,6	1,0056	638,2	7,712	16,937	-
3	6,2x32,7	1,0112	627,9	7,731	16,865	-
<i>x</i>	6,2x30,1	1,0142	624,6	7,764	16,975	1,1

5.2.2. Výpočty

Objem V:

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot l = \pi \cdot \frac{6,2^2}{4} \cdot 30,1 = 922,54 \text{ mm}^3 = \underline{\underline{9,2254 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3}}$$

Hustota ρ:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1,0142 \cdot 10^{-3}}{9,2254 \cdot 10^{-7}} = \underline{\underline{1099,36 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}}$$

Výhřevnost Q_i:

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (w + 9 \cdot H_2) = 16,975 - 2,453 \cdot (0,07764 + 9 \cdot 0,053) = \underline{\underline{15,615 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}}}$$

Obsah popela A:

Hmotnost popela daného vzorku: $m_p = 0,0438 \text{ g}$

Hmotnost absolutně vysušeného vzorku paliva před spálením: $m_d = 10,2581 \text{ g}$

$$A = \frac{m_p}{m_d} \cdot 100 = \frac{0,0438}{10,2581} \cdot 100 = \underline{\underline{0,43\%}}$$

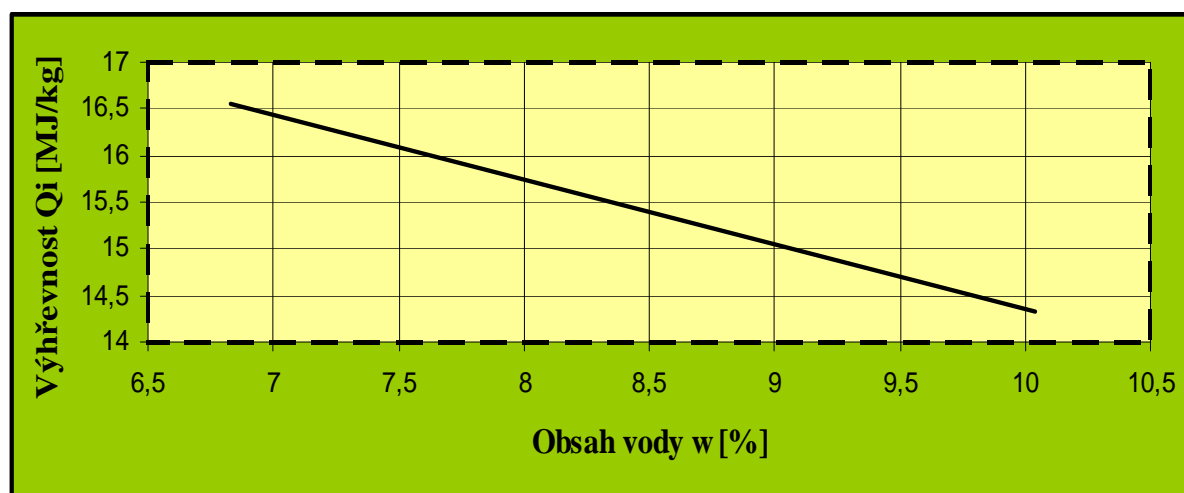
Při porovnání naměřených hodnot a hodnot uváděných výrobcem je patrný určitý rozdíl, který může být způsoben např. špatným skladováním, přičemž největší zjištěný rozdíl je patrný u hodnoty výhřevnosti, tedy stěžejního ukazatele jakosti z hlediska energetiky.

5.3. Porovnání vlastností pelet

Tab. 9.: Porovnání vlastností vybraných pelet vyrobených z biomasy

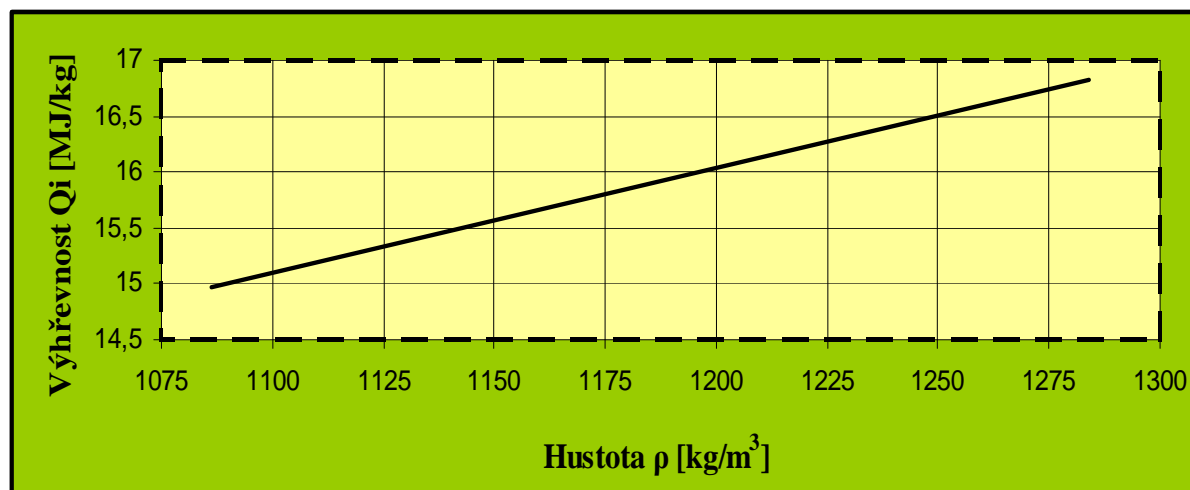
	Peleta Biomac -měkké dřevo-	Dřevěná peleta -světlé dřevo-	Šťovíková peleta -šťovík-	Slaměná peleta -sláma-
Rozměr Dxl [mm]	6,2x30,1	6,1x25,0	6,1x30,0	8,8x35,4
Hmotnost m (1 ks) [g]	1,0142	0,9346	0,9868	2,4545
Sypná hmotnost m_s [g/l]	624,6	642,3	664,3	617,0
Hustota ρ [kg/m ³]	1099,36	1279,19	1125,53	1140,00
Obsah vody w [%]	7,764	7,330	9,537	7,822
Obsah popela A [%]	0,43	4,11	7,33	6,57
Spalné teplo Q_s [MJ/kg]	16,975	18,225	16,251	16,690
Výhřevnost Q_i [MJ/kg]	15,615	16,875	14,847	15,328
Otěr [%]	1,1	0,5	0,2	0,5

Z pozorovaných vlastností [tab. 9.] je zřejmé, že výchozí materiál použitý pro výrobu paliva z biomasy významně ovlivňuje parametry produktu. Z energetického hlediska je důležitým parametrem zejména výhřevnost paliva Q_i , která klesá s rostoucím obsahem vody w, jak ukazuje následující graf [obr. 34.]. Přičemž vyšší obsah vody je prokazatelný především u materiálů pocházejících ze zemědělské produkce (šťovík, sláma).



Obr. 34.: Závislost výhřevnosti Q_i pelet na obsahu vody w

Vedle závislosti na vlhkosti lze z naměřených hodnot jednotlivých výrobků také vyčíst jistý vztah mezi hustotou ρ a výhřevností Q_i [obr. 35.], jejíž hodnota se s rostoucím zhuťněním materiálu v palivu zvyšuje.

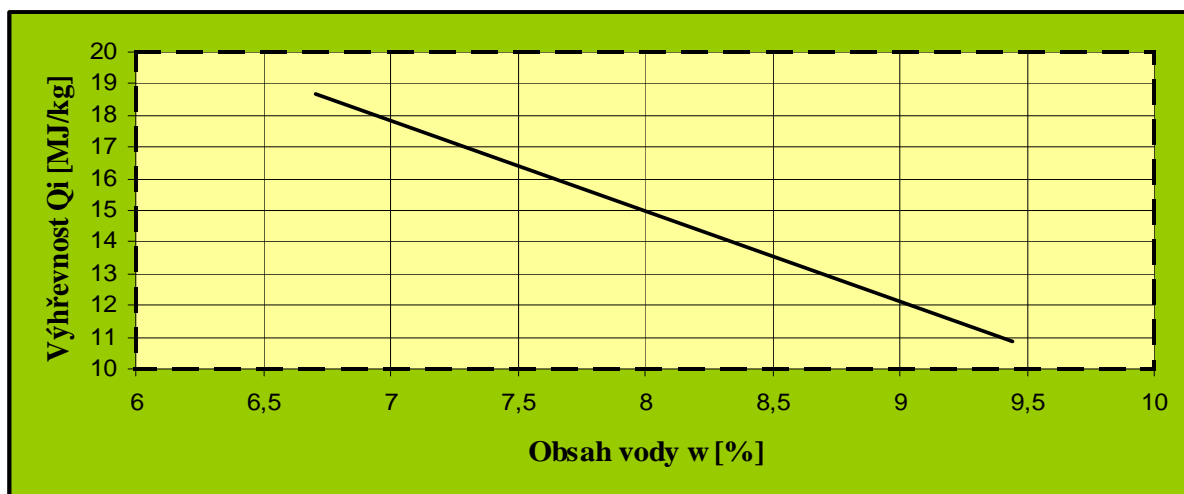
Obr. 35.: Závislost výhřevnosti Q_i pelet na zhuštění (hustotě) ρ

5.4. Porovnání vlastností briket

Při porovnávání vlastností briket [tab. 10.] byly použity vzorky vyrobené z relativně tradičních materiálů, ale také z alternativní suroviny, konkrétně papírové drti. Mezi posuzovanými briketami, obdobně jako u pelet, je zřejmá závislost parametrů paliva na výrobní surovině. V případě briket byla však tato mnohem prokazatelnější. Především u produktů vyrobených z podobné suroviny, tedy dřevěných briket, je možné pozorovat předpokládaný nárůst výhřevnosti Q_i s poklesem obsažené vlhkosti v palivu w [obr. 36.] a zvyšující se hodnotou zhuštění [obr. 38.].

Tab. 10.: Porovnání vlastností vybraných briket vyrobených z biomasy

	Briketa Biomac -měkké dřevo-	Dřevěná briketa -dřevní směs-	Dřevěná briketa -světlé hobliny-	Slaměná briketa -sláma-	Papírová briketa -papírová drť-
Rozměr axb xl (Dxd xl) [mm]	(90,0x18,0 x300,0)	(90,0x18,4 x155,1)	150,1x65,0 x105,9	140,2x69,9 x55,1	140,0x70,1 x115,0
Hmotnost m (1 ks) [g]	2010,1	1162,0	880,5	364,3	958,7
Hustota ρ [kg/m³]	1644,93	1859,20	852,37	674,63	849,16
Obsah vody w [%]	7,709	8,446	7,839	10,953	6,055
Obsah popela A [%]	0,43	2,48	0,42	7,10	25,06
Spalné teplo Q_s [MJ/kg]	17,954	15,272	15,907	15,921	13,259
Výhřevnost Q_i [MJ/kg]	16,595	13,895	14,545	14,482	11,940



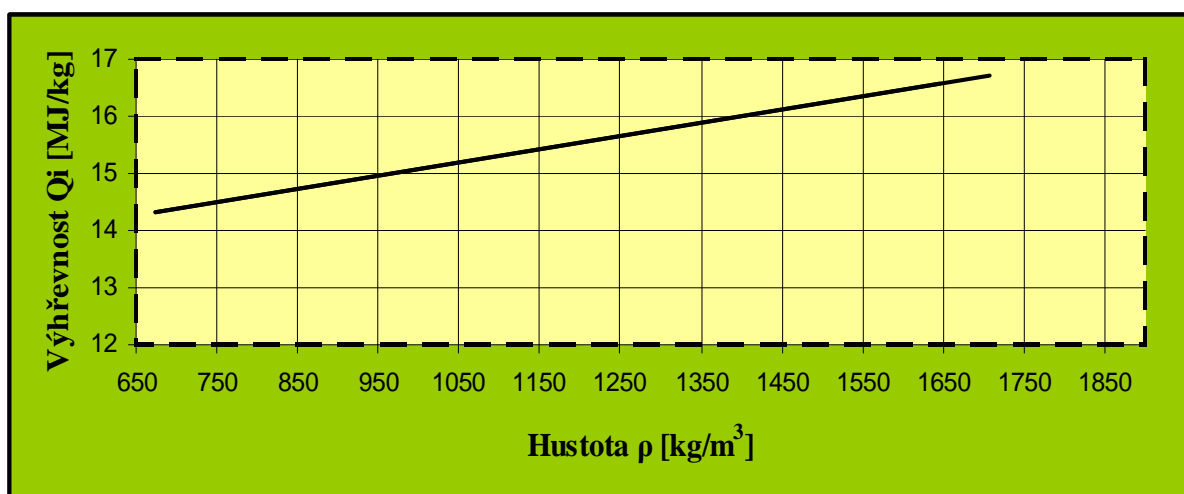
Obr. 36.: Závislost výhřevnosti Q_i briket na obsahu vody w

Avšak parametry papírové a slámové brikety jsou značně rozdílné od dřevních typů. Odlišnost je viditelná zejména v množství popela A, dále pak v obsahu vlhkosti w a výhřevnosti paliva Q_i . Toto může být způsobeno například samotným základním materiálem, jeho malým zhuťněním, použitím aditiv atd.



Obr. 37.: Popel ze vzorků briket

Slaměná briketa (vlevo nahoře), Dřevěná briketa – dřevní směs – (vpravo nahoře), Papírová briketa (dole uprostřed).



Obr. 38.: Závislost výhřevnosti Q_i briket na zhuťnění (hustotě) ρ

6. Závěr

Cílem této práce je provést souhrn používaných způsobů vedoucích k úpravě biomasy za vzniku produktu použitelného pro následné energetické využití. Na tuto oblast je zaměřena první část tohoto dokumentu, po jejímž prostudování je zřejmé, že existuje velmi mnoho zařízení a způsobů, jakými lze biomasu přeměnit tak, aby bylo možné ji vhodně energeticky využít. Každá úprava přitom vede k tvorbě více, či méně odlišných produktů, které dále lze energeticky zhodnocovat v nejrůznějších zařízeních, jakými mohou být kotle na pevná paliva, stejně jako spalovací automobilové motory.

Druhá část této práce se věnuje porovnání vlastností několika vybraných výrobků upravené biomasy, konkrétně z oblasti pevných biopaliv (pelet a briket) vzniklých mechanickou přeměnou původní biomasy. Měření prokázalo určitou odlišnost vlastností jednotlivých vzorků. Výhřevnost pelet se pohybovala v rozmezí 14,847 až 16,875 MJ/kg, přičemž tyto dosahovali vlhkosti 7,330 až 9,537 %. Největší odlišnosti dosahují vzorky v obsahu popela, kdy pelety z měkkého dřeva obsahovali 0,43 %, což je přibližně hodnota požadovaná normami [Tab.7.], kdežto popelovitost šťovíkových pelet dosahovala hodnoty přibližně 7,33 %. Obdobné rozdíly byly zjištěny i v případě vzorků briket, u kterých byla odlišnost tradičních (dřevěných) briket od alternativních (papírových a slaměných) značná. Výhřevnost briket dosahovala hodnot 11,940 až 16,595 MJ/kg, obsah vody 6,055 až 10,953 % a obsah popela 0,42 až 2,48 % v případě dřevěných materiálů, 7,10 % v případě slámové a 25,06 % u papírové brikety.

Z naměřených veličin je zřejmé, že na stěžejní vlastnosti, jako např. výhřevnost, má největší vliv vlhkost a zhutnění (hustota) daného výrobku, kdežto jeho tvar a rozměr ovlivňuje spíše postup, jakým bude výrobek dále využit, např. jakým způsobem bude možné jej dopravovat do spalovacího prostoru.

7. Seznam použitých pramenů

Tištěné zdroje

- [1] Pastorek, Z., Kára, J., Jevič P.: *Biomasa - Obnovitelný zdroj energie*. FCC PUBLIC s.r.o, Praha, 2004, s. 38 – 66, 17-19. ISBN 80-86534-06-5.
- [2] Jakubes, J., Bellingová, H., Šváb, M.: *Moderní využití biomasy*. Česká energetická agentura, Praha, 2006, s. 46 – 51.
- [3] Študlar, Z.: *Úvod do problematiky energetického využívání biomasy*. Česká energetická agentura, Praha, 2004, s. 22 – 27.
- [4] Jandačka, J., Malcho, M., Mikulík, M.: *Biomasa ako zdroj energie*. GEORG, Žilina, 2007, s. 19-29. ISBN 978-80-969161-3-9.

Internetové zdroje

- [5] Vlček, J.: *Pyrolýza a zplyňování* [online]. ČVUT v Praze, 2005. Zveřejněno dne: 17.3.2005. [cit. 2010-03-20]. Text v češtině. Dostupný z WWW: <http://www.fsid.cvut.cz/~matustom/pyrolyza_zplynovani.pdf>
- [6] Baláš, M.: *Energetické využití biomasy* [online]. VUT v Brně, 2008. Zveřejněno dne 28.5.2008. [cit. 2010-03-20]. Text v češtině. Dostupný z WWW: <<http://oei.fme.vutbr.cz/teplarenstvi/papers/balas/energ-vyuz-biomasy.pdf>>.
- [7] PŘÍHODA, Jan: *Technologie pro zpracování dendromasy - těžebních zbytků* [online]. Biom.cz, 2008. Zveřejněno dne: 9.6.2008. [cit. 2010-05-19]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/technologie-pro-zpracovani-dendromasy-tezebnich-zbytku>>. ISSN: 1801-2655.
- [8] Trnobranský, K.: *Energetické využití dřevní hmoty* [online]. REA Kladno s.r.o., 2007. Zveřejněno dne 7.5.2007. [cit. 2010-04-07]. Text v češtině. Dostupný z WWW: <<http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=4102&h=205&pl=49>>. ISSN 1801-4399.
- [9] Simanov, V.: *Výroba, zpracování a využití biomasy* [online]. Centrum rozvoje venkova, 2008. Zveřejněno dne 13.11.2008. [cit. 2010-02-09]. Text v češtině. Dostupný z WWW: <http://www.rarsm.cz/download/cd3/vyroba_zpracovani_vyuziti_biomasy.pdf>.
- [10] Redakce BIOM: *Databáze strojů a zařízení* [online]. Biom.cz, 2010. Zveřejněno dne: 12.1.2010. [cit. 2010-02-07]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/produkty-a-sluzby/stroje-a-zarizeni>>.
- [11] ENVIRO.CZ: *Výroba pelet* [online]. ENVIRO.CZ, 2008. Zveřejněno dne: 18.4.2008. [cit. 2010-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://www.enviro.cz.sweb.cz>>.
- [12] Spearhead Ltd.: *Biopaliva* [online]. Spearhesd Ltd., 2005. Zveřejněno dne: 11.9.2005. [cit. 2010-04-7]. Dostupné z WWW: <<http://www.spearheadinternational.cz>>.
- [13] RUF s.r.o.: *Briketování* [online]. RUF s.r.o, 2006. Zveřejněno dne: 23.10.2006. [cit. 2010-03-20]. Dostupné z WWW: <www.briquetting.com/bri_index?newlang=cz>.
- [14] Artik s.r.o.: *Lisy na biopaliva* [online]. Artik s.r.o, 2009. Zveřejněno dne: 14.7.2009. [cit. 2010-03-20]. Dostupné z WWW: <www.shimpo.cz/shimponra-04.html>.
- [15] AVS Plus s.r.o.: *Biomasa* [online]. AVS Plus s.r.o, 2008. Zveřejněno dne: 28.1.2008. [cit. 2010-03-20]. Dostupné z WWW: <www.avsplus.sk/?ID_Menu=30>.
- [16] Urbánková, H.: *Zelené palivo* [online]. TOP info s.r.o., 2009. Zveřejněno dne 17.5.2009. [cit. 2010-04-07]. Text v češtině. Dostupný z WWW: <www.energoportal.cz/forum/vyroba-biomasy/lis->.
- [17] PBMODEL.CZ: *3D modely* [online]. PBMODEL.CZ, 2009. Zveřejněno dne: 5.3.2009. [cit. 2010-03-20]. Dostupné z WWW: <www.pbmodel.cz/index.php?fid=1>.

8. Seznam použitých symbolů a zkratek

A	[kg·kg ⁻¹]	Obsah popela
h	[kg·kg ⁻¹]	Hořlavina
m	[kg]	Hmotnost
m _s	[kg·m ⁻³]	Sypná hmotnost
m _d	[g]	Hmotnost absolutně suchého vzorku paliva
m _p	[g]	Hmotnost popela
m ₁	[kg]	Hmotnost vzorku surové dřevní hmoty
m ₂	[kg]	Hmotnost vzorku po vysušení
Δm	[kg]	Úbytek hmotnosti vzorku vlivem vysušení
Q _i	[MJ·kg ⁻¹]	Výhřevnost paliva
Q _s	[MJ·kg ⁻¹]	Spalné teplo paliva
Q _v	[MJ·kg ⁻¹]	Výparné teplo paliva
w	[kg·kg ⁻¹]	Obsah vody v palivu
w	[%]	Relativní vlhkost
w _{dr}	[%]	Absolutní vlhkost
ρ	[kg·m ⁻³]	Hustota
D	[mm]	Průměr vzorku
d	[mm]	Vnitřní průměr vzorku
a	[mm]	Šířka vzorku
b	[mm]	Výška vzorku
l	[mm]	Délka vzorku
ČOV		Čistička odpadních vod

9. Seznam příloh

A. VLASTNOSTI PELET VYROBENÝCH Z BIOMASY – VÝPOČTY.....	I
B. VLASTNOSTI BRIKET VYROBENÝCH Z BIOMASY – VÝPOČTY.....	V
C. VÝROBNÍ LISTY – DŘEVĚNÉ BRIKETY BIOMAC.....	X
D. VÝROBNÍ LISTY – DŘEVĚNÉ PELETY BIOMAC.....	XI
E. CERTIFIKÁTY KVALITY.....	XII
F. MĚŘÍCÍ ZAŘÍZENÍ.....	XII

A. Vlastnosti pelet vyrobených z biomasy – výpočty

Většina posuzovaných pelet byla neznámých výrobních parametrů. Vlastnosti výrobku mohou být ovlivněny způsobem dlouhodobého skladování v laboratoři, např. pelety vyrobené ze šťovíku byly během skladování napadeny hlodavci.



Obr. 39.: Rozdružený materiál

Slaměné pelety (vlevo), dřevěné pelety (vpravo).

A.1. Peleta Biomac (Dřevěná ekopeleta Biomac)

Specifikace výrobku dle výrobce:

Surovina: Čisté suché hoblovačky z měkkého dřeva.

Tvar: Válcovitého tvaru (Ø 6.25 mm).

Základní vlastnosti: Slisování 1220 kg/m³

Výhřevnost 18,8 MJ/kg

Obsah popele 0,33 %

Obsah vody 7,3 %

Otěr 0,8 – 1,5 %

Certifikace: Ö-NORM (r.n.: N2004 180)



Obr. 40.: Peleta Biomac

Tab. 11.: Naměřené hodnoty

	Rozměr Dxl [mm]	Hmotnost m (1 ks) [g]	Sypná hmotnost m [g·l ⁻¹]	Obsah vody w [%]	Spalné teplo Q _s [MJ·kg ⁻¹]	Otěr [%]
1	6,2x31,9	1,0258	607,7	7,849	17,123	1,1
2	6,3x25,6	1,0056	638,2	7,712	16,937	-
3	6,2x32,7	1,0112	627,9	7,731	16,865	-
\bar{x}	6,2x30,1	1,0142	624,6	7,764	16,975	1,1

Výpočty:**Objem V:**

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot l = \pi \cdot \frac{6,2^2}{4} \cdot 30,1 = 922,54 \text{ mm}^3 = \underline{\underline{9,2254 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3}}$$

Hustota ρ :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1,0142 \cdot 10^{-3}}{9,2254 \cdot 10^{-7}} = \underline{\underline{1099,36 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}}$$

Výhřevnost Q_i :

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (w + 9 \cdot H_2) = 16,975 - 2,453 \cdot (0,07764 + 9 \cdot 0,053) = \underline{\underline{15,615 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}}}$$

Obsah popela A:

Hmotnost popela daného vzorku: $m_p = 0,0438 \text{ g}$

Hmotnost absolutně vysušeného vzorku paliva před spálením: $m_d = 10,2581 \text{ g}$

$$A = \frac{m_p}{m_d} \cdot 100 = \frac{0,0438}{10,2581} \cdot 100 = \underline{\underline{0,43\%}}$$

A.2. Dřevěná peleta (experimentální vzorek)**Specifikace výrobku:**

Surovina: Světlé dřevo, surovina podobná peletě Biomac, barevnost je světlejší.

Tvar: Válcovitého tvaru (\varnothing 6.0 mm).



Obr. 41.: Dřevěná peleta

Tab. 12.: Naměřené hodnoty

	Rozměr Dxl [mm]	Hmotnost m (1 ks) [g]	Sypná hmotnost m [g·l ⁻¹]	Obsah vody w [%]	Spalné teplo Q_s [MJ·kg ⁻¹]	Otěr [%]
1	6,0x29,1	0,9369	638,2	7,914	18,003	0,5
2	6,1x22,0	0,9318	647,6	7,106	18,293	-
3	6,1x23,9	0,9351	641,1	6,970	18,379	-
\bar{x}	6,1x25,0	0,9346	642,3	7,330	18,225	0,5

Výpočty:**Objem V:**

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot l = \pi \cdot \frac{6,1^2}{4} \cdot 25,0 = 730,62 \text{ mm}^3 = \underline{\underline{7,3062 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3}}$$

Hustota ρ :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,9346 \cdot 10^{-3}}{7,3062 \cdot 10^{-7}} = \underline{\underline{1279,19 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}}$$

Výhřevnost Q_i :

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (w + 9 \cdot H_2) = 18,225 - 2,453 \cdot (0,0733 + 9 \cdot 0,053) = \underline{\underline{16,875 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}}}$$

Obsah popela A:

Hmotnost popela daného vzorku: $m_p = 0,3885 \text{ g}$

Hmotnost absolutně vysušeného vzorku paliva před spálením: $m_d = 9,4611 \text{ g}$

$$A = \frac{m_p}{m_d} \cdot 100 = \frac{0,3885}{9,4611} \cdot 100 = \underline{\underline{4,11\%}}$$

A.3. Šťovíková peleta (experimentální vzorek)**Specifikace výrobku:**

Tento druh pelet byl během skladování v laboratoři napaden hlodavci. Toto se může projevit na vlastnostech zkoumaného vzorku (větší obsah prášných částic výrobku, přítomnost nežádoucího materiálu v palivu, atd.)

Surovina: Základní surovinou tohoto vzorku je šťovík.

Tvar: Válcovitého tvaru (\varnothing 6.0 mm)



Obr. 42.: Šťovíková peleta

Tab. 13.: Naměřené hodnoty

	Rozměr Dxl [mm]	Hmotnost m (1 ks) [g]	Sypná hmotnost m [g·l ⁻¹]	Obsah vody w [%]	Spalné teplo Q_s [MJ·kg ⁻¹]	Otěr [%]
1	6,0x28,6	1,0012	657,4	9,595	16,255	0,2
2	6,1x29,9	0,9620	654,0	9,329	16,117	-
3	6,1x31,5	0,9972	681,5	9,687	16,381	-
\bar{x}	6,1x30,0	0,9868	664,3	9,537	16,251	0,2

Výpočty:**Objem V:**

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot l = \pi \cdot \frac{6,1^2}{4} \cdot 30,0 = 876,74 \text{ mm}^3 = \underline{\underline{8,7674 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3}}$$

Hustota ρ :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,9868 \cdot 10^{-3}}{8,7674 \cdot 10^{-7}} = \underline{\underline{1125,53 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}}$$

Výhřevnost Q_i :

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (w + 9 \cdot H_2) = 16,251 - 2,453 \cdot (0,09537 + 9 \cdot 0,053) = \underline{\underline{14,847 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}}}$$

Obsah popela A:

Hmotnost popela daného vzorku: $m_p = 0,6970 \text{ g}$

Hmotnost absolutně vysušeného vzorku paliva před spálením: $m_d = 9,5120 \text{ g}$

$$A = \frac{m_p}{m_d} \cdot 100 = \frac{0,6970}{9,5120} \cdot 100 = \underline{\underline{7,33\%}}$$

A.4. Slaměná peleta (experimentální vzorek)**Specifikace výrobku:**

Surovina: Základní surovinou tohoto vzorku je sláma.

Tvar: Válcovitého tvaru (\varnothing 9,0 mm)



Obr. 43.: Slaměná peleta

Tab. 14.: Naměřené hodnoty

	<i>Rozměr Dxl</i> [mm]	<i>Hmotnost m (1 ks)</i> [g]	<i>Sypná hmotnost m</i> [g·l ⁻¹]	<i>Obsah vody w</i> [%]	<i>Spalné teplo Q_s</i> [MJ·kg ⁻¹]	<i>Otěr</i> [%]
1	8,7x35,4	2,4196	615,8	7,769	16,738	0,5
2	8,8x34,6	2,4441	645,6	7,892	16,634	-
3	8,8x36,2	2,4998	589,7	7,805	16,698	-
\bar{x}	8,8x35,4	2,4545	617,0	7,822	16,690	0,5

Výpočty:**Objem V:**

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot l = \pi \cdot \frac{8,8^2}{4} \cdot 35,4 = 2153,07 \text{ mm}^3 = \underline{\underline{21,5307 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3}}$$

Hustota ρ :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{2,4545 \cdot 10^{-3}}{21,5307 \cdot 10^{-7}} = \underline{\underline{1140,00 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}}$$

Výhřevnost Q_i :

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (w + 9 \cdot H_2) = 16,690 - 2,453 \cdot (0,07822 + 9 \cdot 0,053) = \underline{\underline{15,328 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}}}$$

Obsah popela A:

Hmotnost popela daného vzorku: $m_p = 0,6300 \text{ g}$

Hmotnost absolutně vysušeného vzorku paliva před spálením: $m_d = 9,5844 \text{ g}$

$$A = \frac{m_p}{m_d} \cdot 100 = \frac{0,6300}{9,5844} \cdot 100 = \underline{\underline{6,57\%}}$$

B. Vlastnosti briket vyrobených z biomasy – výpočty

Většina posuzovaných briket je neznámých výrobních parametrů. Vlastnosti výrobku mohou být ovlivněny způsobem dlouhodobého skladování v laboratoři.



Obr. 44.: Porovnávané brikety

B.1. Briketa Biomac (Dřevěná ekobriketa Biomas - Turbo)**Specifikace výrobku dle výrobce:**

Surovina: Čisté suché hoblovačky z měkkého dřeva (smrk, borovice, modřín)

Tvar: Válcovitého tvaru s prohořivacím otvorem uprostřed (\varnothing 90 mm, délka 300 mm)

Hmotnost: 2 kg

Základní vlastnosti: Slisování 1190 kg/m^3

Výhřevnost $18,9 \text{ MJ/kg}$

Obsah popele $0,28 \%$

Obsah vody $9,2 \%$

Certifikace: DIN CERTCO (r.n.: 5H097), Ö-NORM (r.n.: N2004 178)

Tab. 15.: Naměřené hodnoty

	<i>Rozměr Dxdxl</i> [mm]	<i>Hmotnost m (1 ks)</i> [g]	<i>Obsah vody w</i> [%]	<i>Spalné teplo Q_s</i> [MJ·kg ⁻¹]
1	90,2x18,3x308,0	2009,9	7,666	17,935
2	89,7x17,5x295,0	2010,1	7,743	17,892
3	90,1x18,2x297,0	2010,2	7,718	18,035
\bar{x}	90,0x18,0x300,0	2010,1	7,709	17,954

Výpočty:**Objem V:**

$$V = \pi \cdot \frac{(D-d)^2}{4} \cdot l = \pi \cdot \frac{(90,0-18,0)^2}{4} \cdot 300,0 = 1,222 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 = \underline{\underline{1,222 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}}$$

Hustota ρ:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{2,0101}{1,222 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{1644,93 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}}$$

Výhřevnost Q_i:

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (w + 9 \cdot H_2) = 17,954 - 2,453 \cdot (0,07709 + 9 \cdot 0,053) = \underline{\underline{16,595 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}}}$$

Obsah popela A:

Hmotnost popela daného vzorku: $m_p = 0,0319 \text{ g}$

Hmotnost absolutně vysušeného vzorku paliva před spálením: $m_d = 7,4580 \text{ g}$

$$A = \frac{m_p}{m_d} \cdot 100 = \frac{0,0319}{7,4580} \cdot 100 = \underline{\underline{0,43\%}}$$

B.2. Dřevěná briketa – dřevní směs – (experimentální vzorek)**Specifikace výrobku:**

Surovina: Zkoumaná briketa je vyrobena ze směsi dřeva podobné briketě Biomac

Tvar: Válcovitého tvaru s prohořivacím otvorem uprostřed. Původní rozměry pravděpodobně \varnothing 90 mm, délka 300 mm, testovaný vzorek rozlomený \varnothing 90 mm, délka 140 – 165 mm.

Tab. 16.: Naměřené hodnoty

	<i>Rozměr Dxdxl</i> [mm]	<i>Hmotnost m (1 ks)</i> [g]	<i>Obsah vody w</i> [%]	<i>Spalné teplo Q_s</i> [MJ·kg ⁻¹]
1	90,1x18,0x140,7	1161,6	8,221	15,315
2	90,0x17,8x158,4	1164,1	8,179	14,963
3	90,0x19,3x166,2	1160,3	8,938	15,538
\bar{x}	90,0x18,4x155,1	1162,0	8,446	15,272

Výpočty:**Objem V:**

$$V = \pi \cdot \frac{(D-d)^2}{4} \cdot l = \pi \cdot \frac{(90,0-18,4)^2}{4} \cdot 155,1 = 0,625 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 = \underline{\underline{0,625 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}}$$

Hustota ρ :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1,162}{0,625 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{1859,20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}}$$

Výhřevnost Q_i :

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (w + 9 \cdot H_2) = 15,272 - 2,453 \cdot (0,08446 + 9 \cdot 0,053) = \underline{\underline{13,895 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}}}$$

Obsah popela A:

Hmotnost popela daného vzorku: $m_p = 0,2222 \text{ g}$

Hmotnost absolutně vysušeného vzorku paliva před spálením: $m_d = 8,9494 \text{ g}$

$$A = \frac{m_p}{m_d} \cdot 100 = \frac{0,2222}{8,9494} \cdot 100 = \underline{\underline{2,48\%}}$$

B.3. Dřevěná briketa – světlé hobliny – (experimentální vzorek)**Specifikace výrobku:**

Surovina: Zkoumaná briketa je vyrobena ze světlého dřeva, s největší pravděpodobností se jedná o piliny a hoblovačky pocházející z dřevozpracujícího průmyslu.

Tvar: Briketa je slisována do podoby kvádru se zaoblenými hranami.

Tab. 17.: Naměřené hodnoty

	<i>Rozměr axbxl</i> [mm]	<i>Hmotnost m (1 ks)</i> [g]	<i>Obsah vody w</i> [%]	<i>Spalné teplo Q_s</i> [MJ·kg ⁻¹]
1	150,1x65,0x106,0	880,1	7,819	15,980
2	150,1x65,0x105,8	880,6	7,692	16,214
3	150,0x65,0x106,0	880,8	8,006	15,527
\bar{x}	150,1x65,0x105,9	880,5	7,839	15,907

Výpočty:**Objem V:**

$$V = a \cdot b \cdot l = 150,1 \cdot 65,0 \cdot 105,9 = 1,033 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 = \underline{\underline{1,033 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}}$$

Hustota ρ :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,8805}{1,033 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{852,37 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}}$$

Výhřevnost Q_i :

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (w + 9 \cdot H_2) = 15,907 - 2,453 \cdot (0,07839 + 9 \cdot 0,053) = \underline{\underline{14,545 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}}}$$

Obsah popela A:

Hmotnost popela daného vzorku: $m_p = 0,0338g$

Hmotnost absolutně vysušeného vzorku paliva před spálením: $m_d = 8,1489g$

$$A = \frac{m_p}{m_d} \cdot 100 = \frac{0,0338}{8,1489} \cdot 100 = \underline{\underline{0,42\%}}$$

B.4. Slaměná briketa (experimentální vzorek)**Specifikace výrobku:**

Surovina: Zkoumaná briketa je vyrobena ze slámy.

Tvar: Briketa je slisována do podoby kvádrů.

Tab. 18.: Naměřené hodnoty

	<i>Rozměr axbxl</i> [mm]	<i>Hmotnost m (1 ks)</i> [g]	<i>Obsah vody w</i> [%]	<i>Spalné teplo Q_s</i> [MJ·kg ⁻¹]
1	140,1x70,1x55,7	364,5	10,897	16,318
2	140,3x70,0x54,6	363,9	11,231	15,562
3	140,3x69,6x55,0	364,5	10,731	15,883
\bar{x}	140,2x69,9x55,1	364,3	10,953	15,921

Výpočty:**Objem V:**

$$V = a \cdot b \cdot l = 140,2 \cdot 69,9 \cdot 55,1 = 0,540 \cdot 10^6 mm^3 = \underline{\underline{0,540 \cdot 10^{-3} m^3}}$$

Hustota ρ :

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,3643}{0,540 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{674,63 kg \cdot m^{-3}}}$$

Výhřevnost Q_i:

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (w + 9 \cdot H_2) = 15,921 - 2,453 \cdot (0,10953 + 9 \cdot 0,053) = \underline{\underline{14,482 MJ \cdot kg^{-1}}}$$

Obsah popela A:

Hmotnost popela daného vzorku: $m_p = 0,4093g$

Hmotnost absolutně vysušeného vzorku paliva před spálením: $m_d = 5,7624g$

$$A = \frac{m_p}{m_d} \cdot 100 = \frac{0,4093}{5,7624} \cdot 100 = \underline{\underline{7,10\%}}$$

B.5. Papírová briketa (experimentální vzorek)**Specifikace výrobku:**

Surovina: Zkoumaná briketa je vyrobena z papírové drti, s největší pravděpodobností se jedná o papír z nápojových kartonů, ze kterých byla odstraněna vnitřní izolační vrstva.

Tvar: Briketa je slisována do podoby kvádrů.

Tab. 19.: Naměřené hodnoty

	<i>Rozměr axbxl</i> [mm]	<i>Hmotnost m (1 ks)</i> [g]	<i>Obsah vody w</i> [%]	<i>Spalné teplo Q_s</i> [MJ·kg ⁻¹]
1	140,0x70,1x114,9	958,4	6,076	13,470
2	140,0x70,1x115,0	958,9	5,973	13,278
3	140,0x70,0x115,0	958,8	6,116	13,029
\bar{x}	140,0x70,1x115,0	958,7	6,055	13,259

Výpočty:**Objem V:**

$$V = a \cdot b \cdot l = 140,0 \cdot 70,1 \cdot 115,0 = 1,129 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 = \underline{\underline{1,129 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}}$$

Hustota ρ:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{0,9587}{1,129 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{849,16 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}}$$

Výhřevnost Q_i:

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (w + 9 \cdot H_2) = 13,259 - 2,453 \cdot (0,06055 + 9 \cdot 0,053) = \underline{\underline{11,940 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}}}$$

Obsah popela A:

Hmotnost popela daného vzorku: $m_p = 2,0912 \text{ g}$

Hmotnost absolutně vysušeného vzorku paliva před spálením: $m_d = 8,3448 \text{ g}$

$$A = \frac{m_p}{m_d} \cdot 100 = \frac{2,0912}{8,3448} \cdot 100 = \underline{\underline{25,06\%}}$$



Obr. 45.: Spalování vzorků v elektrické peci

C. Výrobní listy - dřevěné brikety Biomac

TURBO **DŘEVĚNÉ EKOBRIKETY Ø90mm** **světlé s dírou**



obj.č.1329: PE-Balíček 10kg (EAN: 8594054131329)

Certifikace DIN CERTCO (r.n.: 5H097)

Certifikace Ö-NORM (r.n.: N2004 178)

Základní parametry:

Slisování	1190 kg/m ³
Výhřevnost	18,9 MJ/kg
Obsah popele	jen 0,28 %
Obsah vody	jen 9,2 %

Balení:

PE-balíček: 5 briket x 2 kg = 10 kg

Paleta: 100 balíčků x 10 kg = 1000 kg

Kamion: 24 palet = 24 tun briket

Nevratná paleta 1x1,2 m



Surovina:

Čisté suché hoblovačky z měkkého dřeva smrk, borovice, modřín).

Popis:

Jsou charakteristické světlou barvou měkkého dřeva, vysokou výhřevností a především prohořivacím otvorem uprostřed a středním slisováním, které umožňují snadnější zátop a rychlejší prohořívání.

Určení:

Pro rychlé vytopení studených objektů, jako jsou víkendové chaty a chalupy.

Použití:

Dle potřeby nalámat na menší kusy, topeniště zaplňovat max.cca do 1/2 (při hoření zvětšují objem), skladovat v suchu!

D. Výrobní listy - dřevěné pelety Biomac

DŘEVĚNÉ EKOPELETY

Ø6mm, světlé



obj.č.3118: PE-Balíček 15kg (EAN: 8594054133118)

obj.č.3125: BigBag 1000kg (EAN: 8594054133125)

Certifikace Ö-NORM (r.n.: N2004 180)

Základní parametry:

<i>Slisování</i>	<i>1220 kg/m³</i>
<i>Výhřevnost</i>	<i>18,8 MJ/kg</i>
<i>Obsah popele</i>	<i>jen 0,33 %</i>
<i>Obsah vody</i>	<i>jen 7,3 %</i>
<i>Otěr</i>	<i>0,8 ÷ 1,5 %</i>



Balení:

PE-sáček: 15 kg

Paleta: 65 sáčků x 15 kg = 975 kg

Kamion: 24 palet = 23,4 tun pelet

Pytel BigBag: 1000 kg

Paleta: 1 BigBag = 1000 kg

Kamion: 24 palet = 24 tun pelet

Nevratná paleta 1x1,2 m

Materiál:

Čisté suché hoblovačky z měkkého dřeva.

Určení:

Pro krby a kotle ústředního topení s automatickou regulací, přizpůsobené pro topení peletami.

Použití:

Dle instrukcí týkajících se konkrétního topného zařízení, skladovat v suchu!

E. Certifikáty kvality

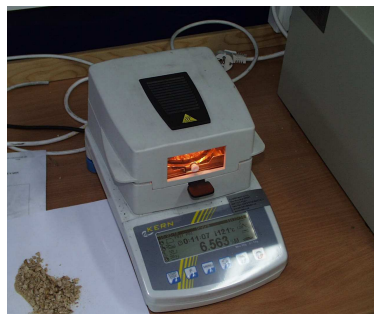


F. Měřicí zařízení

Při stanovování vlastností vybraných pevných biopaliv bylo využito těchto, výhradně laboratorních zařízení: Posuvné milimetrové měřítko, skleněný odměrný válec (1000 ml), váhy (EXPLORER PRO EP 114C), kalorimetr (IKA C200), vysoušeč (KERN), vysoušeč (KERN), elektrická pec (LM 312) a prosívací zařízení (FRITSCH 3 PRO).



Obr. 46.: Kalorimetr
(IKA C200)



Obr. 47.: Vysoušeč
(KERN)



Obr. 48.: Elektrická pec
(LM 312)